جغرافية
الموارد المائية

الدكتور
هاشم محمد صالح

مكتبة المجتمع العربي
للنشر والتوزيع



جغرافية الموارد المائية

جغرافية الموارد المائية

تأليف

الدكتور

هاشم محمد صالح

الطبعة الأولى

2014م – 1435هـ

مكتبة المجتمع العربي

مكتبة المجتمع العربي للنشر والتوزيع

رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية(2012/5/1819)

333.91

صالح، هاشم محمد

جغرافية الموارد المائية/ هاشم محمد صالح.- عمان: مكتبة المجتمع العربي للنشر والتوزيع.2012

(   ) ص

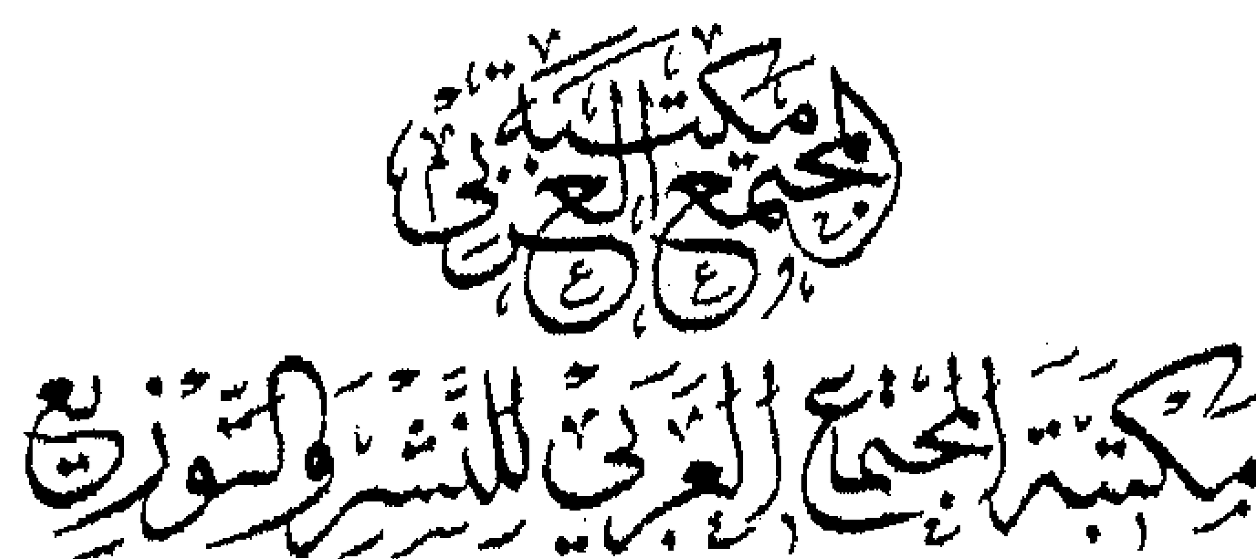
ر.إ.: 2012/5/1819

الواصفات: /المياة

• يتحمل المؤلف كامل المسؤولية القانونية عن محتوى مصنفه ولا يعبر هذا المصنف عن رأي دائرة المكتبة الوطنية أو أي جهة حكومية أخرى.

الطبعة العربية الأولى

2014م–1435هـ



عمان – وسط البلد – ش. السلط – مجمع الفحيص التجاري

تلفاكس 4632739 ص.ب. 8244 عمان 11121 الأردن

عمان – ش. الملكة رانيا العبد الله – مقابل كلية الزراعة – مجمع زهدي حصوة التجاري

www: muj-arabi-pub.com

Email: Moj_pub@hotmail.com

ISBN 978-9957-83-167-7 (ردمك)

فهرس المحتويات

الموضوع	الصفحة

جغرافية الموارد المائية

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

جغرافية الموارد المائية

مقدمة:

الماء أساس الحياة فلا صناعة ولا زراعة ولا إعمار بدون توفر الماء وهذا مصداقا لقول الحق تبارك وتعالى في محكم التنزيل:

(أَوَلَمْ يَرَ الَّذِينَ كَفَرُوا أَنَّ السَّمَاوَاتِ وَالأَرْضَ كَانَتَا رَتْقاً فَفَتَقْنَاهُمَا وَجَعَلْنَا مِنَ المَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ أَفَلَا يُؤْمِنُونَ) {الأنبياء:30}.

يوجد الماء في الطبيعة بصور مختلفة منها العذب ومنها المالح وبالتالي تختلف استخداماته حسب تلك الصور فمنها ما يستخدم للشرب ومنها ما يستخدم للزراعة أو الصناعة وغيرها وقد أشار الخالق في كتابه العزيز إلى صنفي الماء الرئيسين في الآية الكريمة: (وَمَا يَسْتَوِي البَحْرَانِ هَذَا عَذْبٌ فُرَاتٌ سَائِغٌ شَرَابُهُ وَهَذَا مِلْحٌ أُجَاجٌ...) {فاطر:12}.

الماء المادة الأكثر شيوعا على الأرض ويغطي أكثر من 70٪ من سطح الأرض يملأ الماء المحيطات والأنهار والبحيرات ويوجد في باطن الأرض وفي الهواء الذي نتنفسه وفي كل مكان ولا حياة بدون ماء.

كل الكائنات الحية (نبات، حيوان، إنسان) لابد لها من الماء كي تعيش وفي الحقيقة فإن كل الكائنات تتكون غالبا من الماء كما أن ثلثي جسم الإنسان مكون من الماء، وثلاثة أرباع جسم الدجاجة من الماء كما أن أربعة أخماس ثمرة الأناناس من الماء.

ويعتقد بعض علماء الطبيعة أن الحياة نفسها بدأت في الماء — في ماء البحر المالح.

منذ بداية العالم و الماء يقوم بتشكيل تضاريس الأرض. فالمطر يهطل على اليابسة ويجرف التربة إلى الأنهار.

ومياه المحيطات تلتطم بالشواطئ بقوة مكسرة ومحطمة للهوات الصخرية على الشاطئ كما أنها تحمل الصخور المحطمة وتبني رواسب صخرية حيثما تفرغ حملها والمثالج تشق مجاري الوديان وتقطع الجبال.

ويحول الماء دون تغير مناخ الأرض إلى البرودة الشديدة أو الحرارة الشديدة وتمتص اليابسة حرارة الشمس وتطلقها بسرعة بينما تمتص المحيطات حرارة الشمس وتطلقها ببطء ولهذا فإن النسيم القادم من البحر يجلب الدفء إلى اليابسة شتاء والبرودة صيفا.

كان الماء عبر التاريخ عصب الحياة فقد ازدهرت الحضارات المعروفة حيثما كانت مصادر الماء وفيرة كما أنها انهارت عندما قلت مصادر المياه وتقاتل الناس من أجل حفرة ماء مشوب بالوحل كما عبد الوثنيون آلهة المطر وصلوا من أجلها وعلى العموم فعندما يتوقف هطول الأمطار فإن المحاصيل تذبل وتعم المجاعة الأرض وأحيانا تسقط الأمطار بغزارة كبيرة وبصورة فجائية ونتيجة لهذا فإن مياه الأنهار تطفح وتفيض فوق ضفافها وتغرق كل ما يعترض مجراها من بشر وأشياء أخرى.

في أيامنا الحاضرة ازدادت أهمية الماء أكثر من أي وقت مضى فنحن نستعمل الماء في منازلنا للتنظيف والطبخ والاستحمام والتخلص من الفضلات كما نستعمل الماء لري الأراضي الزراعية الجافة وذلك لتوفير المزيد من الطعام. وتستعمل مصانعنا الماء أكثر من استعمالها لأية مادة أخرى.

ونستعمل تدفق مياه الأنهار السريع وماء الشلالات الصاخبة المدوية لإنتاج الكهرباء.

إن احتياجنا للماء في زيادة مستمرة وفي كل عام يزداد عدد سكان العالم كما أن المصانع تنتج أكثر وتزداد حاجتها إلى الماء.

نحن نعيش في عالم من الماء ولكن معظم هذا الماء –حوالي 97٪– منه يوجد في المحيطات. وهو ماء شديد الملوحة إذا ما استعمل للشرب أو الزراعة أو الصناعة. إن نسبة 3٪ فقط من مياه العالم عذبة. وهذا الماء غير متوفر بيسر للناس إذ قد يكون محجوزاً في المثالج والأغطية الثلجية.

كميات الماء الموجودة على الأرض في هذه الأيام هي نفسها التي كانت موجودة في السابق والتي ستظل وتبقى للمستقبل. وكل قطرة ماء نقوم باستعمالها سوف تجد طريقها إلى المحيطات وهناك ستتبخر بفعل حرارة الشمس ثم تعود فتسقط على الأرض ثانية على هيئة مطر وهكذا يستعمل الماء ثم يعاد استعماله مرات ومرات ولا يمكن استنفاده أو فناؤه إلا بإذن الله.

وبالرغم من وجود كميات وفيرة من الماء العذب في العالم فإن بعض المناطق تعاني من نقص الماء؛ فالمطر لا يسقط بالتساوي على أنحاء الأرض المختلفة.

إذ إن بعض المناطق تكون جافة جداً على الدوام بينما يكون بعضها الآخر مطيراً جداً.

ويمكن أن تنتاب نوبة من الجفاف وبشكل مفاجئ منطقة ليست في العادة ذات أمطار كافية كما يمكن أن تجتاح الفيضانات منطقة أخرى بعد هطول أمطار غزيرة عليها.

تعاني بعض المناطق نقصان الماء بسبب عدم كفاية إدارة سكانها لمصادر الماء لديها. ويستقر الناس حيثما يوجد الماء الوفير وذلك بجوار البحيرات والأنهار حيث تنمو المدن وتزدهر الصناعة.

1) الماء في الكائنات الحية:

يتكون كل كائن حي في معظمه من الماء، فجسم الإنسان مؤلف بنسبة 65٪ منه وكذلك في الفأر. أما الفيل وسنبلة القمح فيتألفان بنسبة 70٪ منه، ودرنة البطاطس ودودة الأرض تتألفان من80٪ منه. أما ثمرة الطماطم ففيها95٪. و تحتاج كل الكائنات الحية إلى كميات من الماء للقيام بعملياتها الحيوية. و يجب أن تتناول النباتات والحيوانات والإنسان العناصر الغذائية. وتساعد المحاليل المائية على تحليل العناصر الغذائية إلى طاقة أو مواد لازمة لنموه وإصلاح ما تلف منها.

وتتم هذه التفاعلات في وسط محلول مائي. وعلى كل كائن حي أن يتناول الماء في حدود طبيعته وإلا سيموت. فالإنسان يستطيع أن يبقى على قيد الحياة لمدة أسبوع واحد فقط بلا ماء. ويموت الإنسان إذا فقد جسمه أكثر من20٪ من الماء. ويجب على الإنسان تناول حوالي 2.4لتر من الماء يوميا إما على هيئة ماء شرب أو مشروبات أخرى غير الماء أو في الطعام الذي يتناوله.

2) الماء في المنزل:

يستعمل الناس الماء لأكثر من حاجتهم للبقاء أحياء. فهم يحتاجونه للتنظيف والطبخ والاستحمام والتخلص من الفضلات. فاستعماله بهذه الصورة يعتبر ضربا من الرفاهية لكثير منهم. ويتعين على الناس في القرى سحب الماء يدويا من بئر القرية أو حمله في جرار من البرك والأنهار البعيدة عن منازلهم.

و يمكن أن يستعمل كل فرد في بلد متقدم ما معدله 260لتراً من الماء في منزله يوميا حيث يلزمه استخدام 11لترا لطرد أقذار المرحاض ومن 115– 150لترا للاستحمام و38 لترا لغسل الأطباق و115 لترا لتشغيل غسالة ملابس.

3) الماء للري والزراعة:

معظم النباتات التي يزرعها الإنسان تتطلب كميات كبيرة من الماء.

ويزرع الناس معظم محاصيلهم الزراعية في المناطق ذات الأمطار الوفيرة. ولكنهم في سبيل الحصول على ما يكفيهم من الغذاء فإنه يلزمهم ري المناطق الجافة ولا تعتبر كميات الأمطار التي تستهلكها المحاصيل الزراعية من ضمن استعمالات الماء. ومياه الري التي تستعملها أمة ما تعتبر مهمة بالنسبة لموارد هذه الأمة المائية، إذ إن هذه المياه تعتبر مستهلكة زائلة ولن يبقى منها شيء يعاد استعماله.

تأخذ النباتات الماء عن طريق جذورها ثم تمرره بعد ذلك عبر أوراقها إلى الهواء على هيئة غاز يسمى بخار الماء. وتحمل الرياح هذا البخار ويزول السائل. ومن الناحية الأخرى فإن كل ما نستخدمه من الماء في منازلنا يعود إلى مصادر الماء ثانية حيث يعاد استعماله مرة أخرى.

4) الماء لإنتاج الكهرباء:

لإنتاج القدرة الكهربائية اللازمة لإضاءة منازلنا وتشغيل المصانع تقوم محطات توليد القدرة الكهربائية باستعمال الفحم الحجري أو أي وقود آخر لتحويل الماء إلى بخار ويؤمن البخار الطاقة اللازمة لتشغيل الآلات التي ستنتج الطاقة الكهربائية. وتستخدم محطات توليد القوة الكهرومائية طاقة المياه الساقطة من الشلالات والسدود لتدوير التوربينات التي تدفع بدورها مولدا لإنتاج الكهرباء.

5) الماء للصناعة:

تعتبر الصناعات الأكثر استعمالا للماء وهي تستعمل بعدة طرق فهي تستعمله في تنظيف الفاكهة والخضروات قبل تعبئتها أو تجميدها كما يستعمل مادة أساسية في المشروبات الغازية والأطعمة المعلبة المحفوظة ومنتجات عديدة أخرى

في تكييف الهواء وتنظيف المصانع. ولكن معظم كميات المياه المستعملة في الصناعة يتم استعمالها في عمليات التبريد. فمثلا يبرد الماء البخار المستعمل في إنتاج القدرة الكهربائية من حرق الوقود كما يقوم بتبريد الغازات الساخنة الناتجة عن عمليات تكرير النفط. ويبرد الفولاذ الساخن في مصانع الفولاذ.

ومع أن الصناعة تستعمل كميات وفيرة من الماء إلا أن نحو 20 ٪ من هذا الماء يعتبر مستهلكا مهدراً.

6) الماء لعمليات النقل:

يستخدم الإنسان البحيرات والأنهار في تنقلاتهم وحمل بضائعهم وذلك بعد أن تعلموا بناء القوارب الصغيرة وبعد أن بنوا القوارب الكبيرة أبحروا في المحيطات بحثا عن بلاد وطرق تجارية جديدة ولا زالوا يعتمدون على عمليات النقل البحري لنقل منتجاتهم الثقيلة كالآليات والفحم الحجري والحبوب والزيوت.

7) الماء لعمليات الترويح:

استخدم الإنسان الماء في متنزهاتهم ووسائل ترويحهم على امتداد البحيرات والأنهار والبحار وهم يتمتعون بالرياضات على الماء كالسباحة وصيد السمك والإبحار. كما يتمتعون بجمال البحيرات الهادئة وشلالات الماء الهادرة والأمواج الصاخبة التي تتكسر على الشواطئ.

فكرة تاريخية عن علم المياه:

مر علم المياه بعدة مراحل تطورية إلى أن وصل إلى وضعه الحالي ونستدل من خلال استكشافات الأثرية والوثائق التاريخية.

فمثلا فسر الفيلسوف آرسطو في عام 322 – 384 ق م ميكانيكية هطول الأمطار ثم جاء فيتروفيوس بعد أرسطو بثلاثة قرون وأكد أن أصل الينابيع يتصل بالهطول المطري.

ثم جاء العالم باليس في ما بين (1510– 1590) واكد أن اصل مصدر المياه الوحيد الينابيع والأنهار هو الأمطار وهذا التطور الحاصل في علم المياه أستمر حتى أواخر القرن 17 حيث ظهرت الظريات التي تفسر الدورة المائية في الطبيعة التي كانت تتقدم تارة وتتعثر تارة أخرى إلى أن تكللت بالنجاح.

وفي القرن 18 حصل تقدم وتطور سريع وهائل في مجال علم المياه، فقد شهد علم المياه تطورا آخر بسبب استخدام أسلوب القياس والقيام بالقياسات الدورية فتم قياس مياه نهر الراين الأعلى بالقرب من مدينة بازل عام (18,09م) ونهر النيبر في روما 1825 ونهر الحارون 1873 ثم تلى ذلك معادلات لقياس معدلات التدفق المائي والطريقة النسبية لمعدلات التدفق المائي وكلها تعتبر إنجازات عظيمة في مجال دفع عجلة هذا العلم إلى الأمام، وأول كتاب في مجال علم المياه تم نشره في القرن التاسع عشر سنة 1862م والذي عرف باسم manuel hydrologie وهو تفسير لكتاب باسم جداول الهيدرولوجيا والذي نشر 1850م والكتاب الآخر صدر سنة 1804 م من قبل العالم ردانيل ميدا والتقدم الهائل حصل في علم المياه بالقرن العشرين خاصة في الولايات المتحدة الأمريكية والإتحاد السوفيتي. فخلال الثلاثينيات من هذا القرن خصصت امريكا ميزانية ضخمة لدراسة المشاريع الكبرى في مجال الحفاظ على الموارد المائية والري والسيطرة على الفيضانات وعدت هذا هو العصر الذهبي الأول في علم المياه على حد تعبير العالم eagleson أما العصر الذهبي الثاني فكان عندما أدخلت المعدات والتقنيات الحديثة وسخرت لمجالات البحث في علوم الأرض لخدمة الأغراض العسكرية في الحرب العالمية الثانية وخاصة في الولايات المتحدة الأمريكية ومنها تقنيات إستخدام أجهزة استشعار عن بعد في هذا العلم.

والآن علم المياه في حركة وتطور مستمرين حيث تم إدخال مفاهيم وقوانين وتوجهات جيدة وظفت في دراسة مختلف المواضيع التي يتناولها هذا العلم.

كمية المياه في الطبيعة وكيفية تكوينها:

توجد في الطبيعة ثلاثة حالات هي بخار وسائل وصلب وتتنوع كميات المياه في الكرة الأرضية كما يلي:

1) مساحة البحار والمحيطات: تبلغ 361 مليون كم مكعب وتوجد فيها كمية من المياه تقدر بحوالي 1370 مليون كم مكعب.
2) مساحة اليابس (القارات) 149 مليون كم مكعب وفيها 84 مليون كم مكعب.
3) مجموعة مساحة الكرة الرضية: 510 مليون كم مكعب وفيها كمية من الماء تقدر بحوالي 1455 مليون كم مكعب.

توزع الموارد المائية على اليابسة على النحو التالي:

1) مياه المجاري المائية والأودية تقدر بنحو 1.2 ألف كم مكعب.
2) مياه البحيرات والمستنقعات تقدر بنحو 230 ألف كم مكعب.
3) المياه الموجودة في التربة بصورة طبيعية تقدر ب 82 ألف كم مكعب.
4) المياه الموجودة في الكائنات الحية تقدر بـ ألفي كم مكعب.

وإعتماد النسبة المئوية:

1) تحتوي البحار والمحيطات على 97.2 ٪ من المجموع.
2) الجبال الجليدية والغطاءات القطبية 2.15٪.

3) الأنهار والبحيرات والينابيع والآبار والمياه الجوفية (وهي المياه العذبة الموجودة في الطبيعة)0.64٪.

4) يحتوي الغلاف الغازي على 0.01 ٪ على شكل بحار.

وهذه الكميات من المياه موجودة أصلا قبل ظهور أدنى أنواع الحياة على سطح الأرض بل في الواقع أن بدايات الحياة ظهرت في داخل الماء.

الدورة المائية في الطبيعة:

تعرف الدورة المائية في الطبيعة بأنها سلسلة من المتغيرات في شكل الماء وهو دورة غير منتهية بين المحيطات والغلاف الجوي والأرض، والماء يتواجد في الطبيعة في عدة أماكن وعدة اشكال على سطحالأرض في داخلها، وتحوله من شكل إلى آخر يعرف بالدورة المائية التي هي نظاما مغلقا لا بداية له ولا نهاية وتشمل هذه الدورة حركة المياه في أغلفة الأرض جميعها ويمتد نشاط الدورة المائية خلال الغلفة الثلاثة للأرض ويصل إلى عمق متوسط نحو 8 كم في غلاف اليابس وارتفاع 16 كلم تقريبا في الغلاف الجوي.

أصل المياه في الطبيعة:

منذ حوالي 5 مليارات سنة أصبح للأرض كيان مستقل وبدات تكبر وتصبح لها قوة جاذبية وتطورت معها أغلفتها الغازي والمائي وخلال مراحل معينة مرت الأرض بجركات داخلية كان لها الأثر الأكبر في تشكيل سطحها وأهم هذه النشاطات هي البراكين حيث كل سنة تدفع 15 كم مكعب من صخور الغلاف الصخري إلى سطح الأرض و0.5٪ من كتلة هذه الصخور مياه تخرج على شكل بخار ماء من الماجما المنصهرة وهذا سيضيف مقدار 0.075 كم مكعب سنويا إلى الغلاف الجوي والبحار والمحيطات وهذه البيئة تختلف من سنة إلى أخرى وهذه المياه تسمى بالمياه الأولية.

ونتيجة لهذه العملية تكون خلال عمر الأرض تتكون من الماء من المياه الأولية ما يعادل 25٪ من حجم المحيطات الحالية وان نسبة تصاعد المياه الأولية سريعا جدا، وإذا أمنه بحقيقة أن 0.95 ٪ من كتلة الصخور الباطنية فإن الحسابات تدل على أن الأرض لم تطلق منذ تكونها وحتى الآن غير 16/1 من الماء الموجود فيها وهذه النسبة هي التي كونت الغلاف المائي والمحيطات والبحار والتي تحتل 97.2٪ من مياه الكرة الأرضية والباقي 2.8 يمثل الأنهار والوديان والبحيرات والمستنقعات والغطاءات الثلجية وبخار الماء والمياه الجوفية والماء الموجود على كوكب الأرض أكثر من بقية كواكب المجموعة الشمسية الأخرى لأن حرارة الأرض معتدلة مقارنة مع بقية الكواكب، فتسمح هذه الحرارة المعتدلة بتواجده بحالات ثلاثة صلبة سائلة غازية، وهذه الحالات تسمح بحرية التسرب في الصخور فيصبح كمياه جوفية، أو تتصلب على شكل كتل جليدية أو بحرية في الأنهار أو التنقل في الجو حول كامل الكرة الأرضية، بالإضافة إلى أن الماء المكون الأساسي لكل الكائنات الحية حيث 65 ٪ من مكونات جسم الإنسان والماء هو أهم العناصر الأساسية لقيام أي مظهر من مظاهر الحياة لأنه يشكل القوة والغذاء لأفراد المجموعات النباتية والحيوانية ويشكل مصدر من مصادر الطاقة.

وقد قدرت الدراسات الحديثة المتوسط السنوي لكمية المياه المتحركة بفعل هذه الدورة بـ 520 الف كلم مكعب وتمثل جزء مجموع المياه المنتشر في كوكبنا والتي تقدر بحوالي 1500 مليون كم مكعب والتي منها 230 مليون كم مكعب مفيدا كيميائيا، وتقدر كمية المياه المتبخرة من سطح المحيطات ب 449 كم مكعب بينما 77 الف كم مكعب من سطح اليابس ويعود 77 ٪ من المياه المنجزة إلى سطح الأرض على هيئة تساقط أو أمطار أو ثلوج وغيرها وهذه الكمية المائية المتحركة اساس في إستمرارية بقاء الماء على سطح الأرض كعنصر ضروري لإستمرارية الحياة عليه، وتتنوع الصور التي يتواجد فيها الماء في الطبيعة.

العلوم المائية:

أولا: تعريف المياه:

توصلت المنظمات الدولية وخاصة الوكالات التابعة للأمم المتحدة والمتخصصة في مجال المياه إلى أن الماء وليس الطاقة هي مشكلة القرن الحادي والعشرون وقد عزز هذا الرأي كل من مؤتمر دبلن 1992 ومؤتمر بودي 1994.

تعتبر المياه أحد العناصر الضرورية للحياة على كوكب الأرض وقد قال الله تعالى (وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ..) {الأنبياء:30}.

فإذا إعتبرنا أن للارض نظام أعلى فإن هذا النظام مكون من أربعة انظمة رئيسية هي النظام الغازي والنظام الصخري والنظام الجوي والنظام المائي.

الهيدرولوجيا علم واسع يشمل كل المياه في الكرة الارضية وهي مصطلح يتكون من مقطعين هيدرو hydro وتعني مياه logy وتعني علم.

ثانيا: أقسام علم المياه:

إن الهيدرولوجيا والتي عرف حديثا بـ physical hydrology تدرس دورة المياه العامة في الكرة الأرضية والتيارات المائية والأنهار والبحيرات وغيرها، وقد وصلت إلى تطور كبير حتى تعددت المفاهيم وإستنتاجاتها العلمية حتى ظهرت عدة علوم أخرى.

أقسام المياه:

1) الهيدرولوجيا hydrology وهو العلم اذلي يهتم بدراسة المياه السطحية والمجاري المائية والبحيرات والمياه الباطنية ذات العمق القليل ومنها:

أ. البتومولوجيا potamology يهتم بدراسة المجاري المائية فقط.

ب. المتولوجي limonology يهتم بدراسة البحيرات والمستنقعات.

ج. كرتولوجي crilogy يهتم بدراسة الجليد والجليديات القطبية.

2) علم البحار والمحيطات: oceanography وهو العلم الذي يهتم بدراسة المياه في البحار والمحيطات.

3) هيدرومتيرولوجي: hydrometerology وهو علم ملازم للأرصاد الجوية ويهتم براسة الغلاف الغازي.

أنواع المياه ومصادرها WaterResources:

- المياه السطحية:

مصطلح يشير نموذجيا إلى المياه الغير ملحيةّ والمفتوحة على تقلبات المناخ، وهي النوع الأدنى وفرة من المياه العذبة والصالحة للشربّ.

تؤلّف هذا النوع من المياه 2٪ من المياهّ المتوفّرة للاستعمال الإنسانيّ وتعتبر الأمطار هي المصدر الأساسي للمياه السطحيّة التي تشمل أنواع مختلفة مثل السيول، الأنهار، البحيرات والبرك.

المياه السطحيّة متوفّرة وسهلة المنال للاستعمال الإنسانيّ وفي مساحات واسعة أكثر من مصادر أخرى ولكنها ليست النوع المثالي للاستعمال نظرا لاحتوائها في كثير من الأحيان على ملوثات وشوائب جرثومية وكيميائية تحتاج إلى أنظمة معالجة متكاملة ومتطورة.

- برك وينابيع بحيرات واسعة:

ملوثات المياه السطحيّة مبدئيا تتأتى أولا من النشاط الانسانيّ والزراعي والنفايات الصناعية إضافة إلى فضلات الحيوانات والنافق منها.

الملوثات الجرثومية تترافق غالبا مع مخزون المياه السطحيّة حيث تتغذى وتنمو في مستعمرات وبأعداد هائلة تعمل المؤسسات الحكومية المختصة على حل هذه المسألة عبر الاعتماد على عدة طرق للمعالجة مثل الكلورة Chlorination، التخثير ,Coagulation الترسيب Sedimentation والتصفية او الترشيح Filtration.

المياه الجوفية والمياه السطحيّة تتميزان بعاملي الوقت والمكان، وتلعب عملية التبادل بينها دورا هاما في وفرة المياه العذبة.

على سبيل المثال، السيل السطحي المتدفّق هو احد مصادر تغذية المياه الجوفية، وبالتالي فأن المياه الجوفية المتفجرة بشكل ينابيع وعيون هي مصدر رئيسي لمياه الأنهار والجداول السطحية.

- المياه الجوفية:

المياه الجوفية هي المصدر الأوسع للمياه العذبة والغير متجمدة على كوكبنا وتقدر بحوالي 21٪ من مخزون المياه وتعتمد نسبة عالية من التجمعات السكانية في العالم على المياه الجوفية كمصدر صالح للمياه.

المياه الجوفية هي المياه التي تقع تحت سطّح التربة وتختزن نفسها في مسامات الأرض وبين صخر الأديم، الرمل، الحصى، وأخرى من مكونات التربة الأرضية.

تنشأ معظم المياه الجوفيّة من تسرّب عبر طبقات الأرض لتنطلق بعدها بالجاذبية نحو البحار والمحيطات او تتدفق لتنضم إلى مجاري الجداول والأنهار. وهذا ما سبق وذكرناه من عملية التبادل الدائمة بين جوف الأرض وباطنها وبالعكس.

تحدث حركة المياه الجوفيّة عموديا وأفقيا في استجابة لجاذبيّة الأرض والضغط الهيدروليكيّ وخلال مناطق مشبعة بالكامل.

تتألّف هذه المناطق من طبقات صخرية أو رسّوبية تسمح بنفاذ المياه بطريقة الترشيح وبمقادير صالحة للاستعمال وبسرعة يحكمها درجة الانحدار. وعموما فأن الصخور الرسوبية تملك مسامية عالية وممتازة مثل الحجارة الرملية والحجارة الكلسية.

الرسم في الأسفل يوضح لنا ترتيب الطبقات الأرضية وحدود جدول المياه او ما يسمى باللغة الإنكليزية Water Table.

أكثر الوسائل الشائعة للحصول على إمدادات المياه الجوفيّة هو الينابيع والآبار.

تنشأ الينابيع في المناطق حيث تشهد تغييرا هاما في نفاذية التربة وانفتاح مساماتها أفقيا ويؤدي إلى ظهور المياه إلى سطح الأرض لتصبح مياها سطحية.

إن حفر الآبار للحصول على المياه الجوفيّة هو من أكثر العمليات تعقيدا حيث يعمد المخططون والمختصون في هذا المجال إلى استخدام وسائل مختلفة لتحديد المصدر المائي الذي يمكن الاعتماد عليه والوثوق به. تعتبر مسألة تخزين المياه الجوفية أساسية عند الحديث عن بئر ماء.

ولتحديد أفضل المناطق لحفر بئر يلزم الأخذ بالاعتبار مجموعة من العوامل أهمها:

- سرعة سيلان المياه عبر مسامات الأرض وتجمعها في البئر.
- حجم المنطقة التي تتجمع فيها المياه وإعادة ملئها عند سحب الكميات إلى سطح الأرض.

مياه البحر:

تشكل مياه البحر 97 ٪ من احتياط الماء العالمي وجزء كبير منه يشكل المحيطات المتجمدة حيث تجدر الإشارة إلى أن مياه البحر المتجمدة لا يمكن الاستفادة منها في الاستعمال البشري.

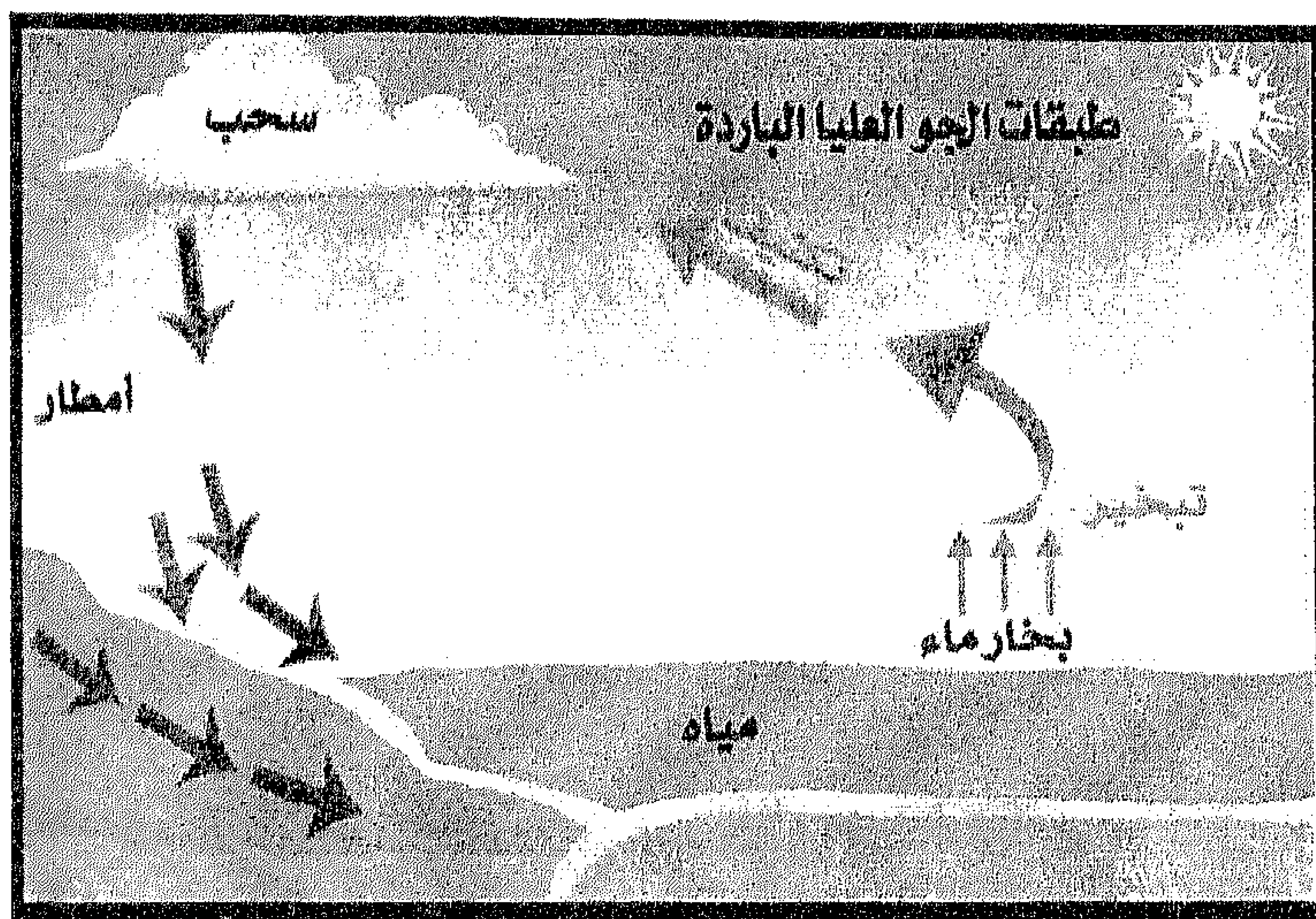
إن مياه البحار المتجمدة تتميز بقدرتها على عكس أشعة الشمس وبالتالي اكتساب خاصية المحافظة الدائمة على التجمد الذي يحصر نسبة الأملاح العالية ويركزها داخل الكتل الجليدية.

تختلف مياه البحر بشكل كبير عن المياه العذبة وتتسم بخاصيتين مهمتين هما الحرارة والملوحة واللتين تقترنان معا للتحكم بكثافة المياه Density Of Water.

التحلية هي عملية فصل تستعمل لخفض نسبة الأملاح الذائبة في المياه المالحة إلى مستوى تصبح معه هذه المياه قابلة للاستعمال والشرب. في المناطق الجغرافية التي تفتقر إلى المصادر الطبيعية للمياه النقية والصالحة للشرب مثل الأنهار، الينابيع والسيول، تعتمد المجتمعات الموجودة على أنظمة تحلية المياه لأنها مصدر موثوق لا ينضب للمياه ولا سيما مع بداية العام 1950 ميلادية الذي شهد انطلاقة أنظمة التحلية بأسعار اقتصادية وتقنيات مبسطة تعمل في شتى الظروف البيئية.

وتم تحديد الأملاح الذائبة في المياه المحلاة بنسبة 500 جزء بالمليون لتكون النسبة المسموح بها دوليا للمياه لجميع الاستعمالات المنزلية، الصناعية والزراعية.

الدورة المائية:



عندما تسقط أشعة الشمس على سطح البحار والمحيطات واليابس تبدأ عملية التبخر وقد يكون هذا التبخر مباشرا كما هو الحال في الجهات الصراوية وتبخر المياه الموجودة في التربة والنبات هو عملية النتح وتبخر المياه الجارية الوديان والأنهار وتنقل كل هذه المياه المتبخرة بكل أشكالها إلى الغلاف الجوي حيث تتم عملية التكاثف فتجتمع القطرات المائية لتسقط ثانية على سطح الأرض والبحار والمحيطات على هيئة أمطار أو ثلوج.

وما يسقط على السطح يعود ثانية إلى البحار والمحيطات بطريقة مباشرة أو غيرها بعد تحوله لمياه باطنية، وجزء من التساقط يتبخر مباشرة اثناء سقوطه من الغلاف الجوي وجزء يجري في الأنهار والوديان وآخر يرطب التربة وجزء آخر يمتصه الغطاء النباتي وآخر يمون البحيرات والمستنقعات وهذا ما يعرف بدورة المياه الطبيعية بفعل إستمرارية الظروف الطبيعية، ويساعد على تواجد الماء بشكل أو آخر على سطح الأرض وفي متناول الانسان وإذا نظرنا إلى الكمية المائية الموجودة في الطبيعة نجد أن 97.2 ٪ منها مالحة تتواجد في البحار والمحيطات وتحتل مساحة تقدر بـ361 مليون كم مربع كمياه عذبة تتوزع على السطح ما بين الأنهار

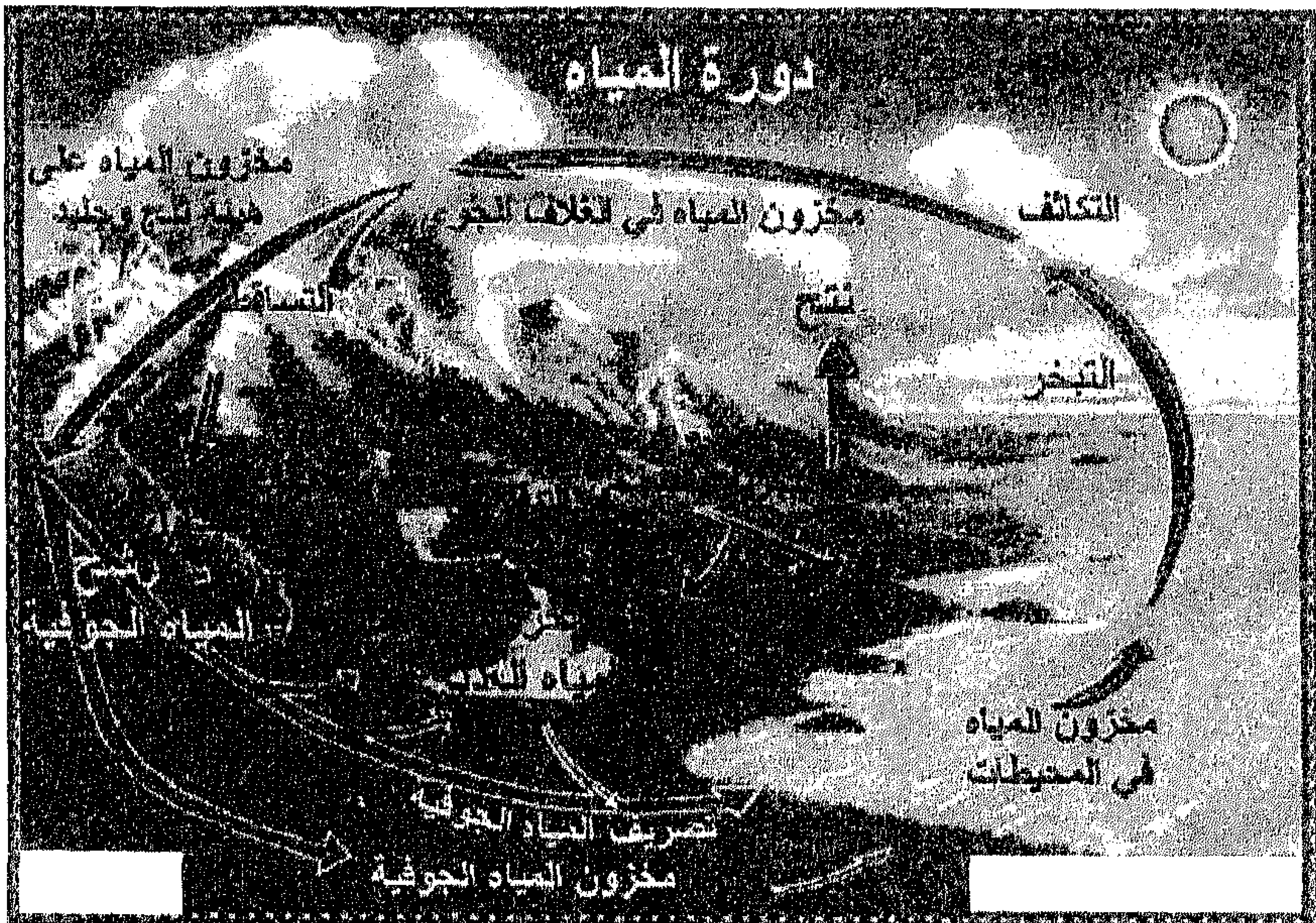
والوديان والبحيرات، ومياه سطحية مياه جوفية وهذه الكميات المائية موجودة على السطح بفضل وجود أدنى أنواع الحياة عليها بل الحياة بدأت في الماء.

وتؤثر في الدورة المائية في الطبيعة جملة من العوامل في مقدمتها الطاقة الشمسية التي تساعد على تبخر كميات من المياه إضافة إلى تأثير التيارات الهوائية والريح التي تعمل على نقل كميات كبيرة من بخار الماء وكذلك تأثيرا الجاذبية الأرضية.

ما هي دورة الماء؟

إن دورة الماء تصف وجود وحركة المياه على الأرض وداخلها وفوقها. وتتحرك مياه الأرض دائما، وتتغير أشكالها بإستمرار، من سائل إلى بخار، ثم إلى جليد، ومرة أخرى إلى سائل. لقد ظلت دورة الماء تعمل مليارات السنين، وتعتمد عليها كل الكائنات الحية التي تعيش على الأرض حيث من دونها تصبح الأرض مكاناً طارداً تتعذر فيه الحياة.

ملخص موجز عن دورة الماء:



ليس لدورة الماء نقطة إنطلاق، ولكن المحيطات تُعد أفضل مكان لها لتنطلق منها. إن الشمس التي تعتبر المحرك الأساسي لدورة الماء تقوم بتسخين المياه في المحيطات التي تتبخر (تتحول) إلى بخار ماء داخل الجو. وتقوم التيارات الهوائية المتصاعدة بأخذ بخار الماء إلى أعلى داخل الغلاف الجوي، حيث درجات الحرارة الباردة التي تتسبب في تكثيف بخار الماء، وتحويله إلى سحاب.

تقوم التيارات الهوائية بتحريك السحب حول الكرة الأرضية، وتصطدم ذرات السحاب وتنمو وتسقط من السماء كأمطار، ويسقط بعض من هذه الأمطار كجليد، ويمكن أن يتراكم كأنهار جليدية. وفي ظل الظروف المناخية الحارة يتعرض الجليد إلى الذوبان، خصوصاً عندما يحل فصل الربيع، وتتدفق المياه المذابة على سطح الأرض، وتجري كمياه أمطار. جليدية مذابة. وتسقط اغلب مياه الأمطار داخل المحيطات، أو على سطح الأرض حيث تسيل على سطح الأرض كمياه أمطار جارية نتيجة للجاذبية الأرضية.

يدخل جزء من مياه الأمطار الجارية إلى مجاري الأنهار ويتحرك نحو المحيطات. وتسيل مياه الأمطار السطحية والمياه الجوفي لتشكل مياهاً عذبة في البحيرات والأنهار. ومع أن مياه الأمطار لا تذهب كلها إلى الأنهار إلا أن الكثير منها يتسرب إلى داخل الأرض كارتشاح.

يبقى جزء من هذه المياه قريباً من سطح الأرض، ويمكن أن يسيل مرة أخرى إلى داخل مجاميع المياه السطحية (والمحيطات) لتشكل مياهاً جوفية. وتجد بعض من المياه الجوفية فتحات على سطح الأرض حيث تخرج منها كينابيع من المياه العذبة. وتقوم الجذور النباتية بامتصاص المياه الضحلة، ثم ترتشح من خلال أسطح الأوراق النباتية، لتعود مرة أخرى إلى الغلاف الجوي.

تتسرب بعض من هذه المياه إلى داخل الأرض، وتتعمق داخلها لتتزود بها الطبقات الصخرية المائية (صخور سطحية مشبعة)، التي تقوم بتخزين كميات هائلة من المياه العذبة لفترات طويلة من الزمن. ومع ذلك تظل المياه متحركة

على مدى الزمن، ويعود بعض منها مرة أخرى إلى المحيطات حيث تبدأ وتنتهي دورة الماء.

أجزاء دورة الماء:

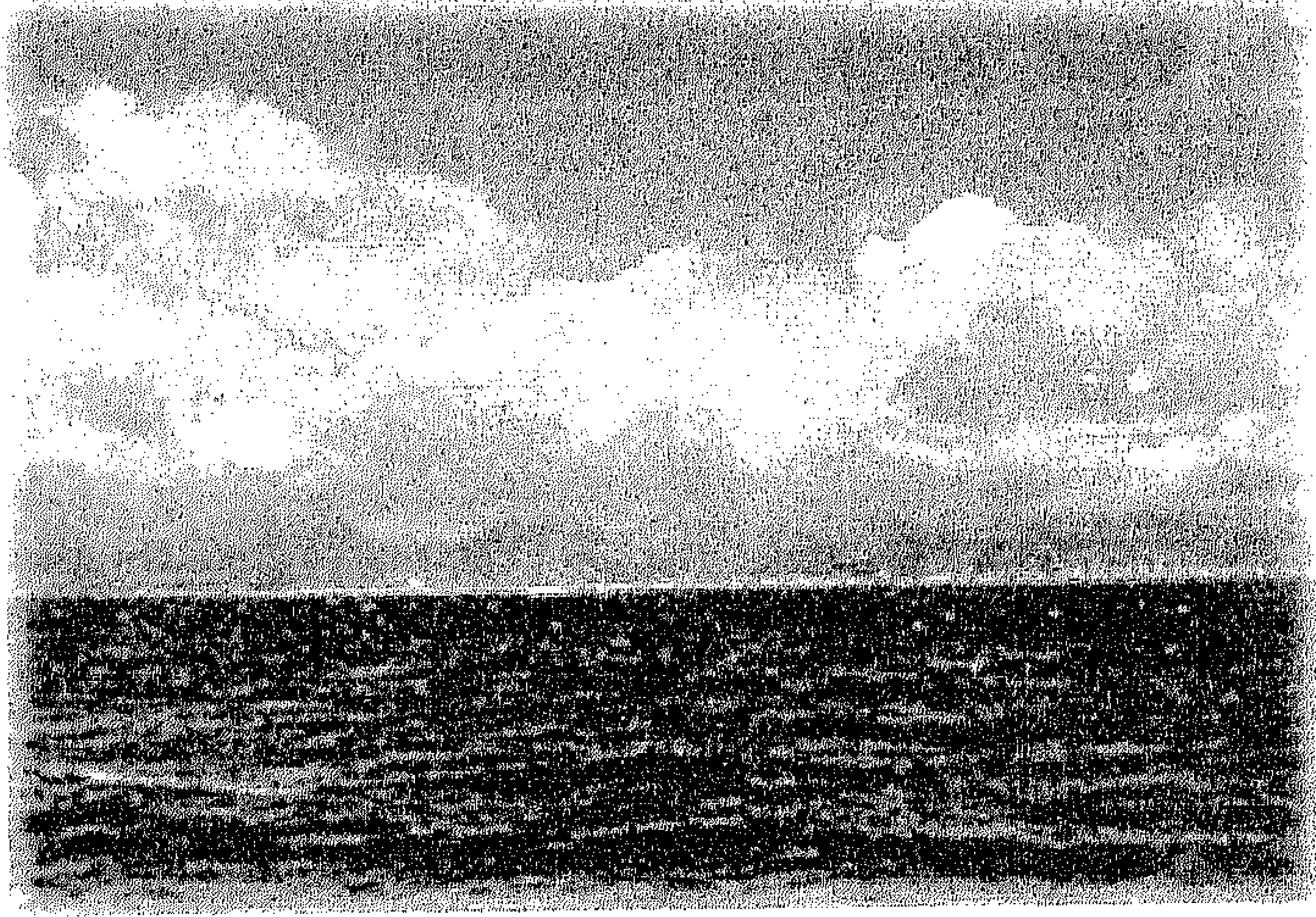
قامت دائرة المساحة الجيولوجية الأمريكية بتحديد 15 جزءاً من دورة الماء على النحو التالي:

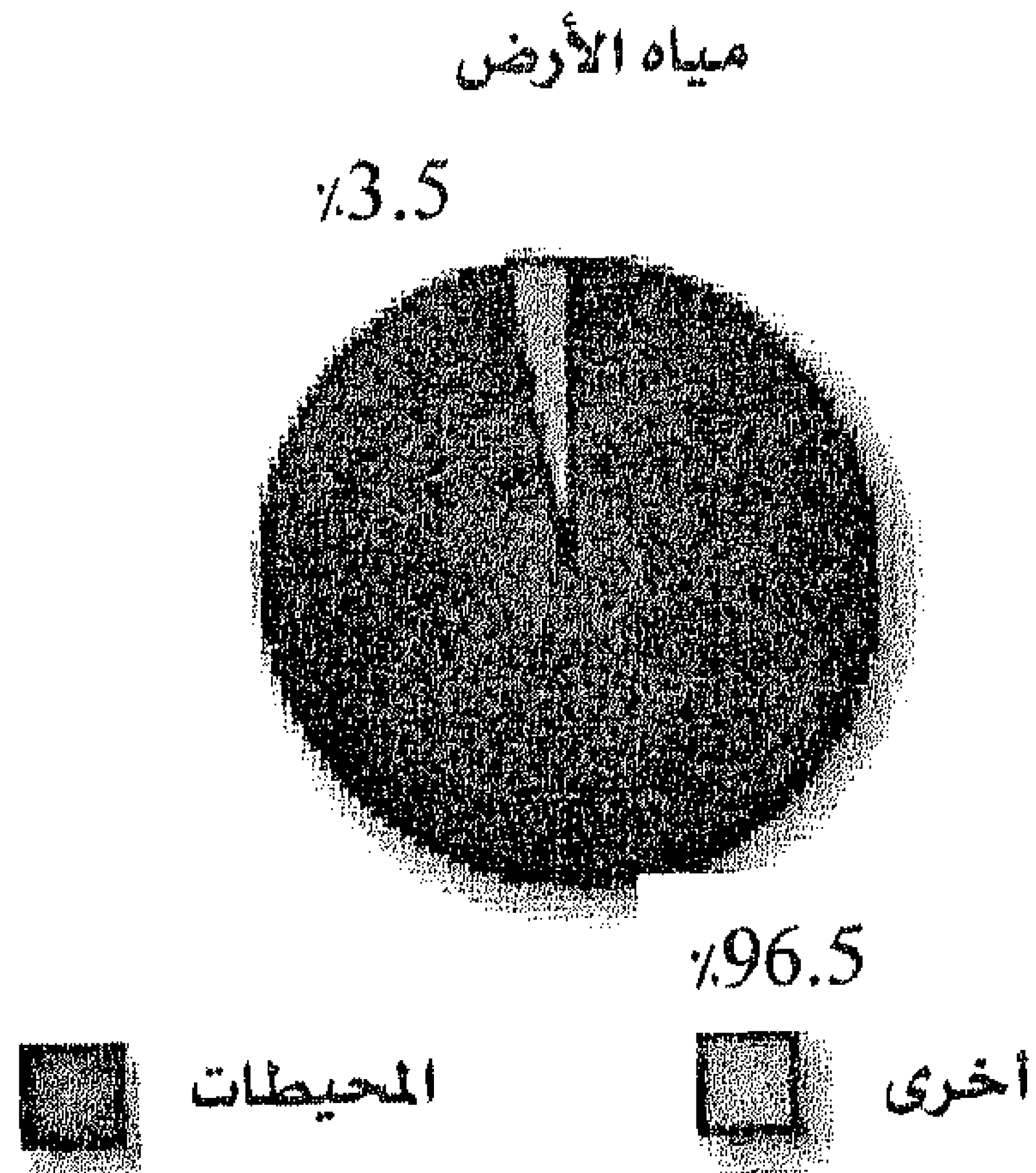
1) المياه المخزنة في المحيطات.
2) التبخر.
3) المياه الموجودة في الغلاف الجوي.
4) التكثف.
5) التساقط.
6) المياه المخزنة على هيئة جليد وثلج.
7) ماء الجليد الذائب في مجاري الأنهار.
8) ماء المطر الجاري فوق سطح الأرض
9) مجاري الأنهار.
10) المياه العذبة المخزنة.
11) التسرب.
12) المياه الجوفية المتدفقة.
13) الينابيع.
14) الارتشاح.
15) المياه الجوفية المخزنة.

التوزيع العالمي للماء:

1) المياه المخزنة في المحيطات:

الماء المالح في المحيطات والبحار القارية المغلقة، المحيط عبارة عن مستودع لتخزين الماء.





تعد كمية المياه المخزنة في المحيطات لفترات طويلة أكثر بكثير من تلك التي تتحرك من خلال دورة الماء. ويصل إجمالي إمدادات المياه على مستوى العالم إلى 1.386.000.000 كيلومتر مكعب (321.000.000 ميل مكعب)، منها 1.338.000.000 كيلومتر مكعب (332.500.000 ميل مكعب) مخزنة في المحيطات بنسبة تصل إلى 95٪ إذ توفر المحيطات حوالي 90٪ من المياه المتبخرة التي تذهب إلى دورة الماء

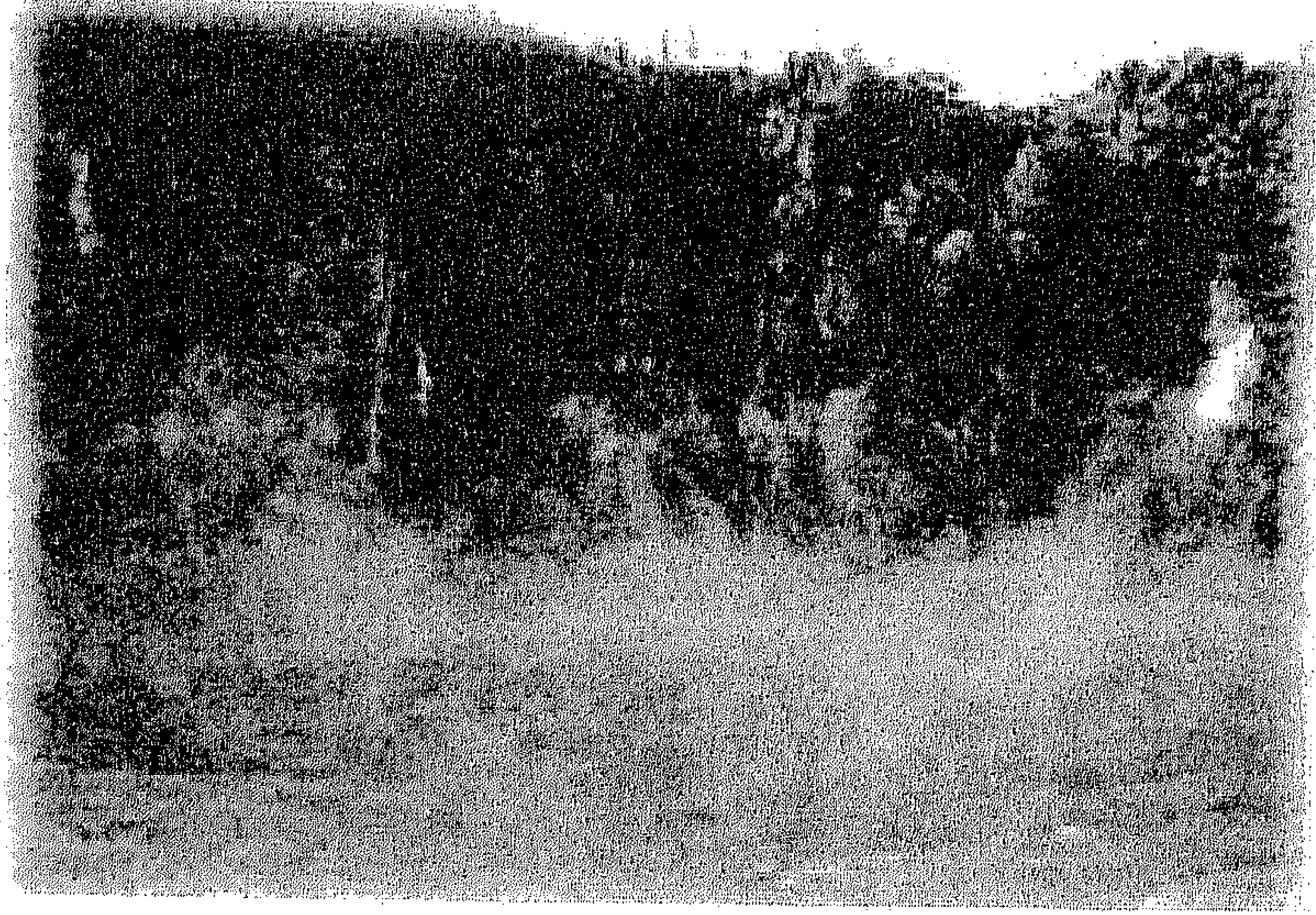
تتعرض كمية الماء الموجودة في المحيطات لتغييرات على مدى فترات طويلة من الزمن. وتتشكل خلال الفترات المناخية الباردة مزيد من الأنهار والمجاري الجليدية، مما يؤدي إلى تدني مستوى الماء في المحيطات والعكس صحيح خلال الفترات المناخية الحارة. وكان مستوى الماء في المحيطات خلال العصر الجليدي الماضي اقل بحوالي 122 متراً (400 قدم) عن معدل اليوم. وقبل حوالي 3 مليون سنة، عندما ارتفعت درجة حرارة جوف الأرض، ارتفع مستوى الماء في المحيطات إلى أعلى بمعدل بلغ 50 متراً (165 قدم).

المحيطات في حالة حركة:

توجد تيارات في المحيطات تقوم بتحريك كميات هائلة من الماء حول العالم. وتكون هذه التحركات على قدر كبير من التأثير على دورة الماء والأحوال الجوية. ويشتهر التيار الدافئ الموجود بشمال الأطلسي بالماء الدافئ وقيامه بتحريك الماء من خليج المكسيك عبر الأطلسي نحو بريطانيا بسرعة تصل إلى 97 كيلومتر في اليوم، ناقلاً كميات من الماء أكثر بحوالي 100 مرة من تلك التي تنقلها الأنهار الأرضية. ويؤدي هذا التيار إلى تلطيف الأحوال الجوية في بريطانيا بشكل أكثر من بلدان أخرى تقع على خط العرض نفسه.

2) التبخر: تحول الماء من سائل إلى غاز او بخار

التبخر ولماذا يحدث؟



التبخر هو العملية التي يتحول بموجبها الماء من سائل إلى غاز أو بخار، ويعد الطريقة الرئيسة لانتقال المياه مرة أخرى إلى دورة الماء، لتصبح بخار ماء داخل الغلاف الجوي. وتوفر المحيطات والبحار والبحيرات والأنهار حوالي 90 ٪ من الرطوبة الموجودة في الغلاف الجوي عن طريق التبخر، في حين أن نسبة الـ 10 ٪ المتبقية تأتي من ارتشاح النباتات.

تعتبر الحرارة (الطاقة) التي توفرها الشمس ضرورية لحدوث التبخر. وتستخدم هذه الطاقة في كسر جزيئات الماء المتماسكة، لذا يتبخر الماء عند درجة الغليان (212 درجة فهرنهايت، 100 درجة مئوية) بسهوله، ولكن ذلك يحدث ببطء شديد للغاية عند درجة التجمد. ويتعذر حدوث التبخر عندما تصل الرطوبة النسبية في الجو إلى معدل 100 ٪ (درجة التشبع). وكما أن التبخر يزيل الحرارة من البيئة، فإن الماء الذي يتبخر من جسمك هو الذي يجعلك تشعر بالبرودة.

- **التبخر ودورة الماء:**

تعتبر عملية التبخر التي تحدث في المحيطات الطريقة الرئيسية لانتقال الماء إلى الغلاف الجوي. وتتيح المساحات الشاسعة التي تغطيها المحيطات (تغطي المحيطات 70 ٪ من سطح الأرض) المجال لحدوث تبخر على نطاق واسع. وتعتبر كمية الماء المتبخر هي، تقريباً، نفس كمية الماء التي تعود إلى الأرض كأمطار، حسب القياس العالمي، برغم أن هذه الكميات تختلف من الناحية الجغرافية. وتعد عملية التبخر الأكثر شيوعاً على نطاق المحيطات بالمقارنة مع الأمطار، في حين أن الأمطار هي التي تسود بشكل أكبر على سطح الأرض. وتسقط معظم المياه التي تتبخر من المحيطات مرة أخرى إليها كأمطار، وحوالي 10 ٪ فقط من الماء المتبخر من المحيطات تنتقل إلى الأرض لتسقط كأمطار. وبمجرد تبخرها فإن جزئي الماء الواحد يمضي حوالي 10 أيام في الجو.

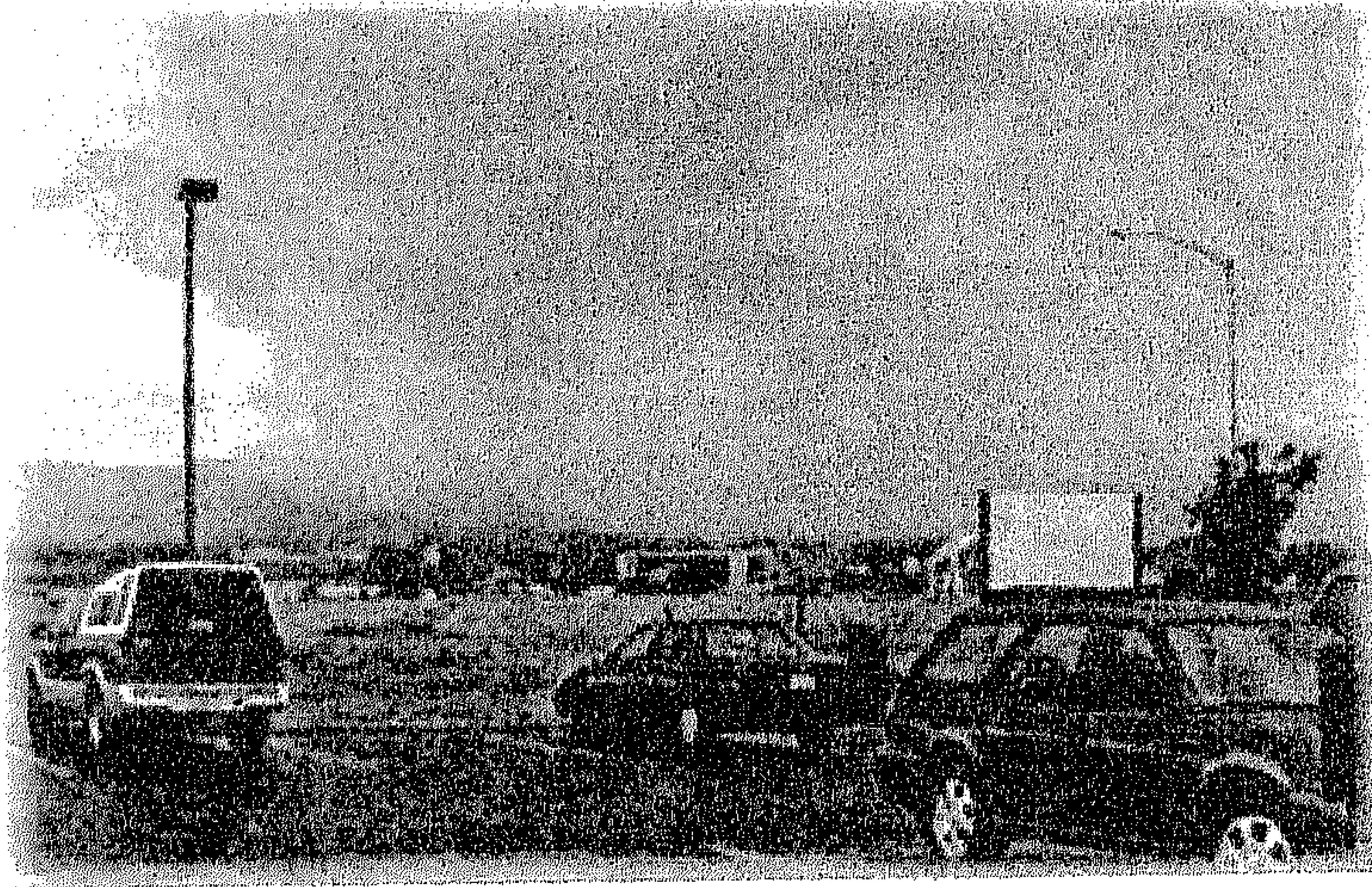
3) تخزين الماء في الغلاف الجوي على هيئة بخار وسحب ورطوبة:

الغلاف الجوي ملئ بالماء:



على الرغم من أن الغلاف الجوي ربما لا يشكل مستودعاً كبيراً للماء، إلا أنه يعتبر "مساراً كبيراً" يستخدم لنقل الماء حول العالم. وعادة ما توجد هنالك مياه بصفة دائمة داخل الغلاف الجوي. وتعتبر السحب شكلاً من أشكال الرطوبة الجوية التي يمكن رؤيتها بالعين المجردة، ومع ذلك فإن الهواء النقي يحتوي على مياهاً على هيئة ذرات صغيرة يتعذر رؤيتها. ويصل حجم الماء الموجود في الغلاف الجوي في اي وقت إلى حوالي 12900 كيلومتر مكعب (3100 ميل مكعب). وإذا سقطت كل المياه الموجودة في الغلاف الجوي مرة واحدة كأمطار فإنها ستغطي الأرض بعمق يصل إلى 2.5 سم حوالي 1 بوصة.

4) التكثف: تحول الماء من بخار إلى سائل



التكثف هو عملية تحول الماء من حالته الغازية (بخار) إلى سائل. والتكثف مهم بالنسبة لدورة الماء لأنه يشكل السحب التي تتسبب بدورها في تكثف البخار ليصبح مطراً أو ندى، وهو الوسيلة الرئيسية لعودة الماء إلى الأرض. ولذلك فإن التكثف هو عكس التبخر تماماً.

والتكثف أيضاً هو السبب في حدوث الضباب الذي يظهر على نظارتك عند خروجك من غرفة باردة إلى الخارج حيث الجو الحار، ويتسبب أيضاً في حدوث

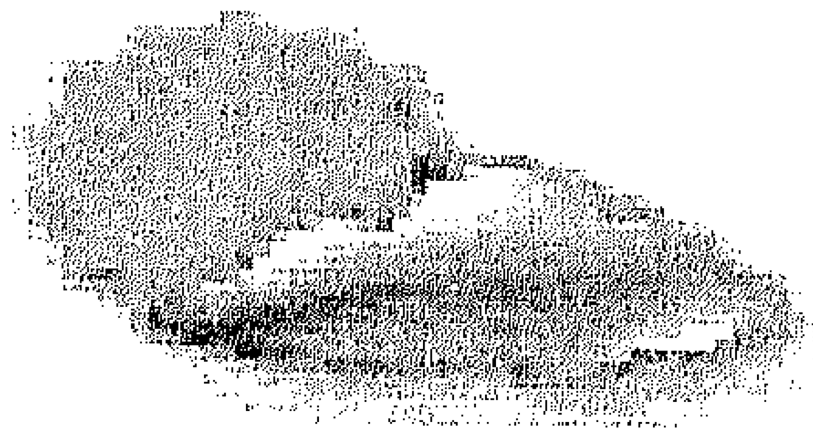
رطوبة الجو وفي تساقط قطرات الندى من كوب ماء الشرب، وكذلك في تجمع المياه على نوافذ منزلك أثناء الجو البارد.

- التكثف في الهواء:

حتى لو كانت السماء زرقاء صافية فلا يزال الماء موجوداً على هيئة بخار ورذاذ متناهي الصغر وبالتالي يتعذر رؤيته بالعين المجردة. وتتوحد ذرات الماء مع ذرات صغيرة من الغبار والدخان في الجو لتشكل رذاذ السحب الذي يتوحد مع بعضه ليكون السحب. وعندما يتوحد رذاذ الماء مع بعضه وينمو في الحجم، يمكن أن يحصل التساقط.

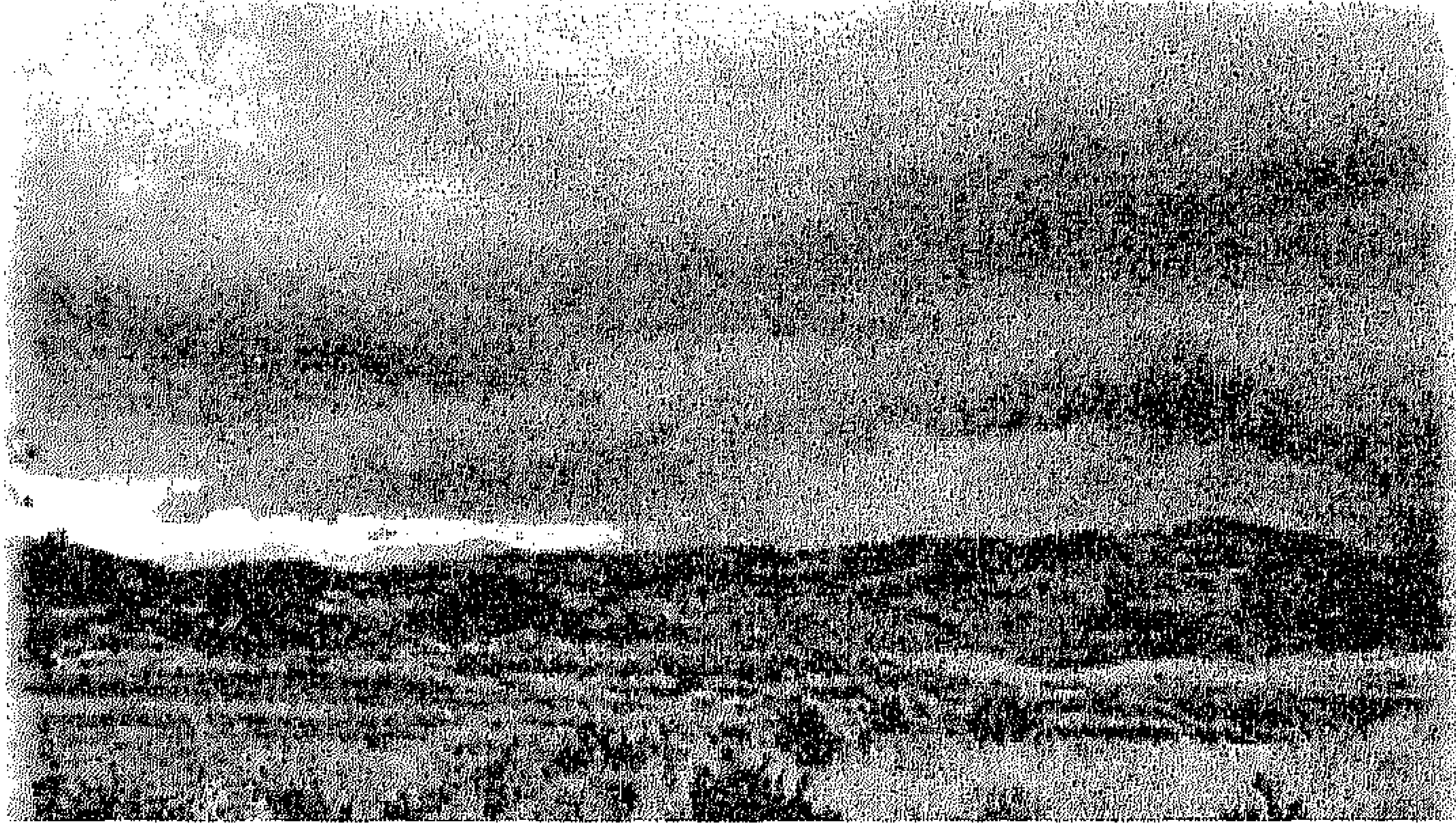
تتشكل السحب في الغلاف الجوي لأن الجو يحتوي على بخار الماء، الذي يتصاعد بدوره ثم يبرد. وتقوم الشمس بتسخين الجو بالقرب من سطح الأرض الذي يصبح بالتالي خفيفاً ويتصاعد إلى أعلى حيث تكون درجات الحرارة أبرد. وعندما تكون درجات الحرارة بمعدلات أبرد يحدث مزيد من التكثف وتتشكل السحب.

5) التساقط: خروج الماء من السحب



التساقط هو خروج الماء من السحب على شكل أمطار، أو ثلج، أو جليد، أو برد. وهو الوسيلة الرئيسية لعودة الماء الموجود في الغلاف الجوي إلى الأرض. ومعظم الماء المتساقط من الغلاف الجوي يهطل كأمطار.

كيف تتشكل قطرات المطر:



تحتوي السحب العائمة في الغلاف الجوي على بخار ماء وقطرات من السحب. وهي تعتبر صغيرة للغاية لتسقط كأمطار، إلا أنها كبيرة بقدر كاف لتشكل سحباً يمكن رؤيتها بالعين المجردة. ويتبخر الماء ويتكثف باستمرار في السماء. ومعظم الماء المتكثف في السحب لا يسقط كأمطار بسبب التيارات الهوائية الصاعدة التي تعتبر بمثابة دعامة للسحب. وبالنسبة لحدوث الأمطار فإنه لابد في بادئ الأمر من أن تتكثف قطرات الماء، ثم تتوحد لإنتاج قطرة ماء كبيرة وثقيلة بما فيه الكفاية لتخرج من السحب، وتسقط كأمطار، مع العلم بأن إنتاج قطرة مطر واحدة يحتاج إلى ملايين قطرات السحب.

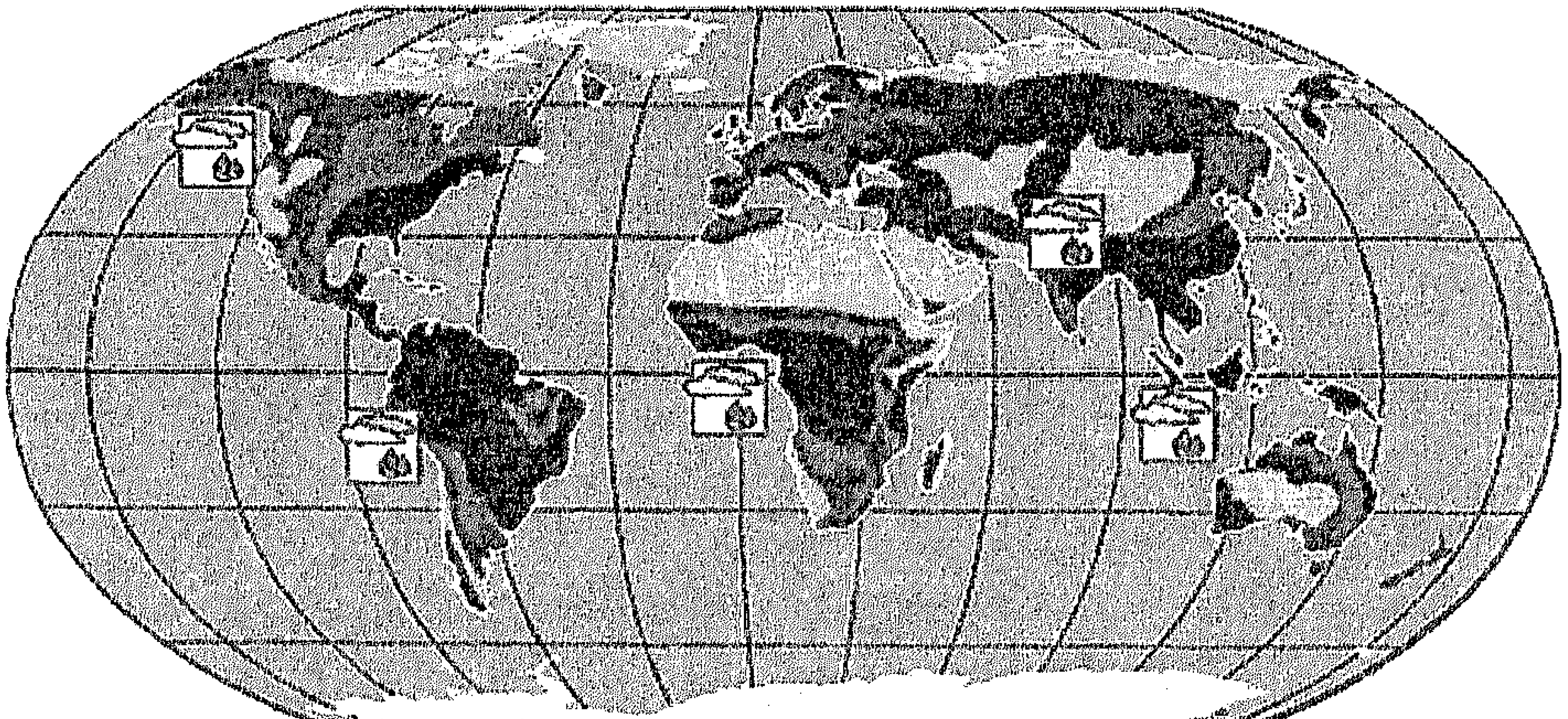
- معدلات الأمطار تتفاوت جغرافياً على مدى الزمن:

لا تسقط الأمطار بالكميات نفسها على نطاق العالم في أي بلد، أو حتى في أية مدينة.

وعلى سبيل المثال، في مدينة أطلانتا، بولاية جورجيا بالولايات المتحدة الأمريكية، يمكن أن تؤدي العواصف الرعدية الصيفية إلى هطول أمطار بمعدل بوصة أو أكثر في منطقة واحدة، تاركة منطقة أخرى على بعد كيلومترات قليلة جافة من دون أمطار. ومع ذلك فإن كمية الأمطار التي تهطل في ولاية جورجيا،

خلال شهر واحد، غالباً ما تكون أكثر من تلك التي تسقط في لاس فيجاس ونيفادا على مدار السنة. وينسب السجل العالمي لمتوسط هطول الأمطار السنوي إلى جبل ويليل في هاوي حيث يبلغ متوسط سقوط الأمطار حوالي 1.140 سم (450 بوصة) في السنة عكس ما يحدث في أريكا وشيلي حيث لم تهطل أمطار منذ 14 سنة.

توضح الخارطة المبينة أدناه المتوسط السنوي للتساقط بالمليميتر والبوصة في العالم. المناطق الموضحة باللون الأخضر الخفيف تعتبر صحارى. ويمكنك أن تتوقع أن الصحراء الكبرى في القارة الإفريقية يمكن أن تكون صحراء جافة، ولكن هل تعتقد بأن كثيراً من الأراضي في جرين لاند وأنتاركتيكا عبارة عن صحراء أيضاً.



6) تخزين الماء في الأنهار والكتل الجليدية والثلجية:

- **الغطاءات الجليدية حول العالم:**

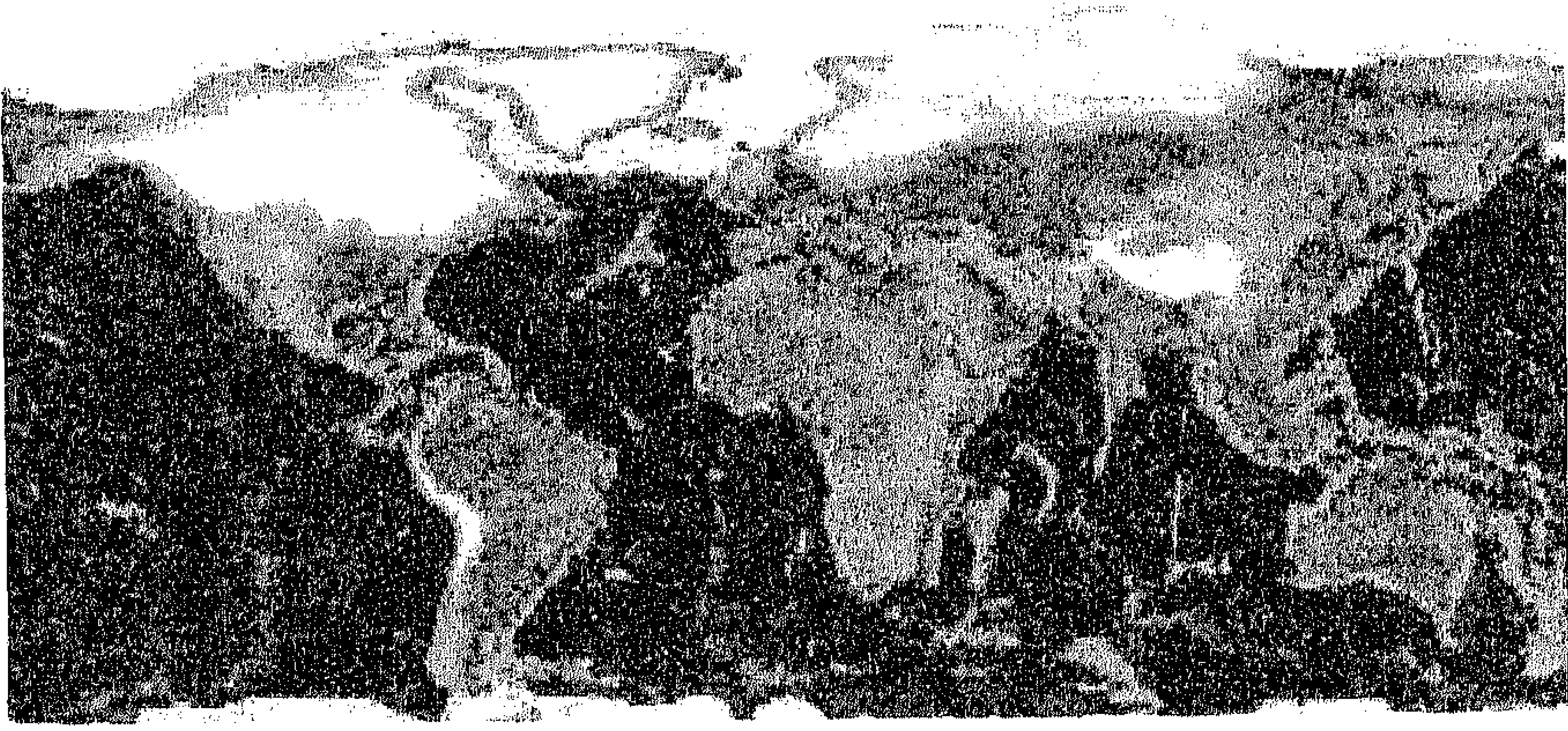


يعتبر الماء المخزن منذ فترات طويلة في الكتل والأنهار الجليدية والثلجية جزءاً لا يتجزأ من دورة الماء. وتستحوذ انتاركتيكا على حوالي 90٪ من الكتلة الجليدية الموجودة في العالم، بينما تحتوي الغطاءات الجليدية في جرين لاند على 10٪ من إجمالي الكتلة الجليدية العالمية. ويصل سمك الغطاء الجليدي في جرين لاند إلى حوالي 1500 متر (5000 قدم)، ومع ذلك يمكن أن يصل سمكه إلى 4300 متر (14000 قدم).

الثلوج والأنهار الجليدية تأتي ثم تذهب:

يتعرض المناخ الجوي العالمي إلى تغييرات دائمة مع أنها عادة ما تكون تغييرات غير سريعة بما فيه الكفاية حتى يتمكن الناس من ملاحظتها. وقد شهد العالم الكثير من الفترات الزمنية الحارة، مثل تلك التي عاش فيها الديناصور قبل حوالي 100 مليون سنة، وكذلك فترات زمنية باردة مثل العصر الجليدي الأخير

قبل حوالي 20000 سنة مضت. وخلال العصر الجليدي الأخير كان معظم نصف الكرة الأرضية الشمالي مغطى بالثلج والأنهار الجليدية.



بعض الحقائق عن الأنهار الجليدية والغطاءات الجليدية:

تغطي الأنهار الجليدية حوالي 10 الى 11٪ من الأراضي كلها.

إذا ذابت كل الأنهار الجليدية اليوم سيرتفع منسوب البحار إلى حوالي 70 متراً (230 قدم). المصدر: المركز القومي للبيانات الثلجية والجليدية

خلال العصر الجليدي الأخير وصل مستوى سطح البحر إلى 122 متراً (400 قدم)، وهو معدل أقل من معدل اليوم وكانت الأنهار الجليدية تغطي تقريباً ثلث الأرض.

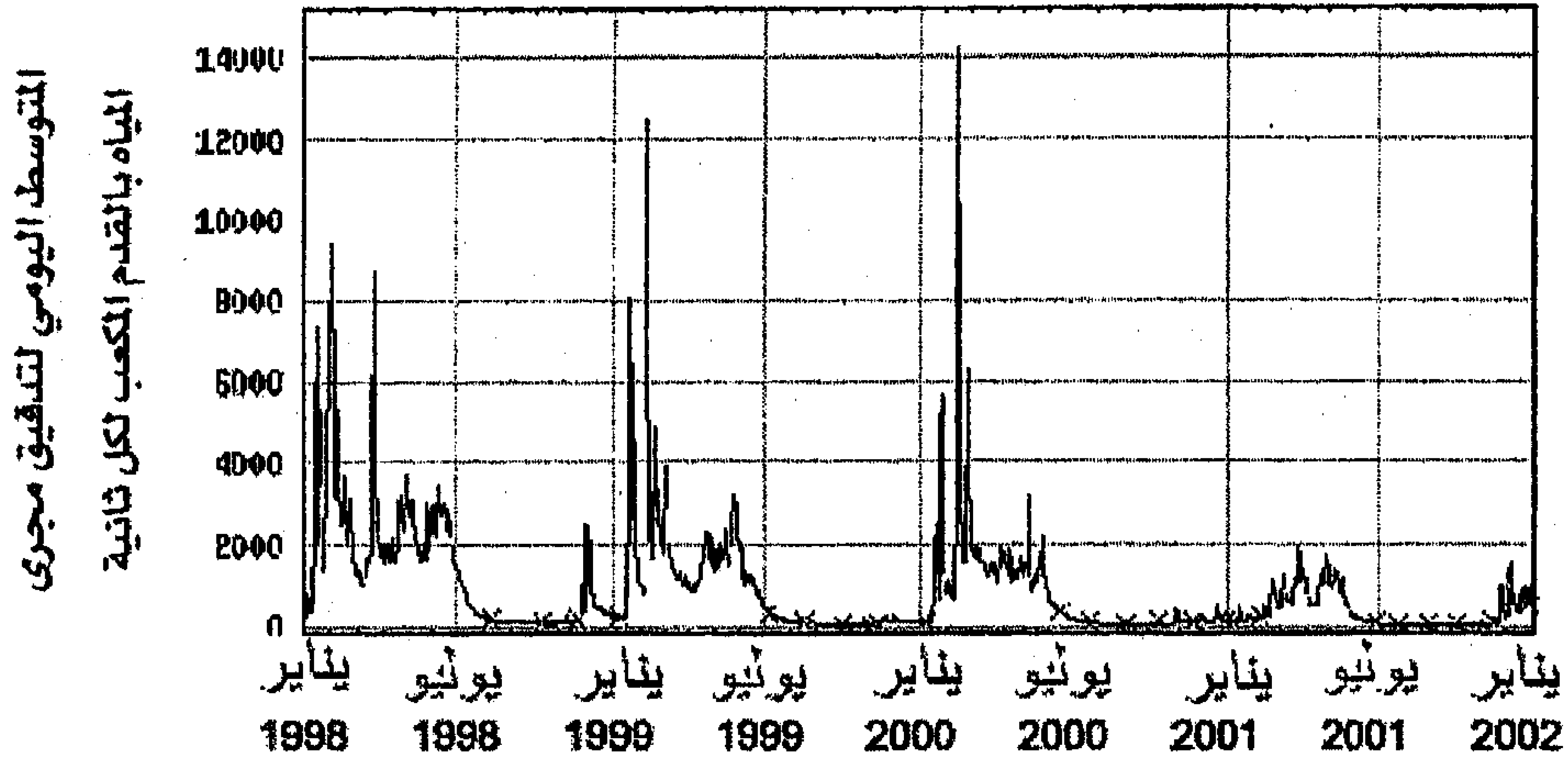
خلال الفترة الزمنية الحارة التي حدثت قبل 125 الف سنة مضت بلغ ارتفاع منسوب البحار 5.5 متر (18 قدم)، وهو مستوى أعلى من مستوى اليوم. وكان من الممكن أن يصل ارتفاع منسوب البحار قبل 3 مليون سنة إلى حوالي 50 متراً (165 قدم).

7) مياه الجليد المذابة الجارية على سطح الأرض:



تعد مياه الجليد المذابة الجارية على سطح الأرض جزءاً لا يتجزأ من حركة الماء على نطاق العالم. وتأتي معظم مياه الجليد، التي تذوب أثناء فصل الربيع في المناطق المناخية الباردة، من الكتل الثلجية والجليدية المذابة. وإلى جانب الفيضانات التي تسببها هذه المياه فإن الجليد المذاب يمكن أن يؤدي إلى حدوث الإنزلاقات الأرضية وجريان مخلفات الأنهار الجليدية المتمثلة في الكتل الصخرية والحجرية.

إن أفضل طريقة لفهم واستيعاب كيفية تأثير الجليد المذاب على تدفق مجاري الأنهار تتمثل في الرسم البياني المبين أدناه، الذي يوضح متوسط تدفق المياه اليومي خلال أربع سنوات بنهر نورث فورك الأمريكي، عند سد نورث فورك، بولاية كاليفورنيا، بالولايات المتحدة الأمريكية. وحسبما هو موضح بالرسم فإن الجليد المذاب يعتبر السبب الأساسي في بلوغ هذا النهر ذروته. وكان أدنى متوسط يومي لتدفق جريان النهر خلال مارس 2000 قد وصل إلى 1200 قدم مكعب في الثانية، بينما كان تدفق جريانه أقل بكثير خلال أغسطس بعد ذوبان الجليد تماماً، حيث وصل إلى 55– 75 قدم مكعب في الثانية.

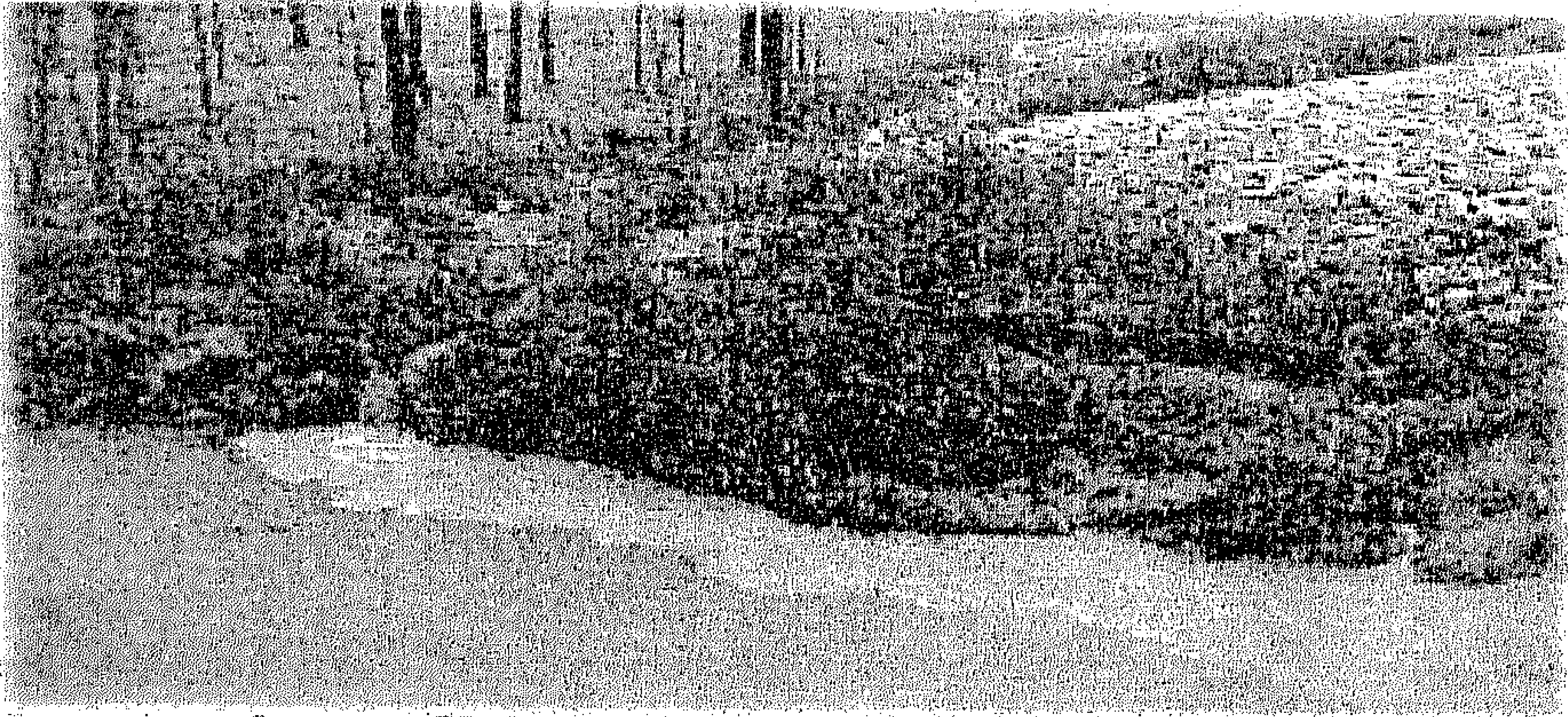


تتفاوت مياه الجليد المذابة الجارية على سطح الأرض من موسم، إلى موسم وكذلك من سنة إلى أخرى. وبمقارنة أوقات ذروة تدفق جريان النهر خلال العام 2000م مع الأوقات التي يكون فيها تدفق جريان الماء اقل بكثير خلال العام 2001م فإننا نجد أن هذه المنطقة من كاليفورنيا كأنها أصيبت بالجفاف خلال العام 2001م. ويمكن أن تؤدي المياه المخزنة ككتل جليدية إلى تقليل كمية المياه المتاحة لبقية السنة. ويمكن أن يؤثر ذلك على كمية المياه الجوفية الموجودة في أعماق مجاري الأنهار، والتي بدورها يمكن أن تؤثر على المياه المتوفرة للري واستهلاك الناس.

8) المياه الجارية على سطح الأرض: تسيل مياه التساقط فوق سطح التربة نحو الأنهار:

المياه الجارية على سطح الأرض عبارة عن مياه تساقط جارية فوق الأرض.

من المرجح أن كثيراً من الناس يعتقدون أن مياه التساقط تسقط على الأرض وتجري نحو الأنهار التي تصب في المحيطات. وفي واقع الأمر، فإن هذه المسألة تعتبر عملية معقدة إلى حد بعيد، ذلك لأن الأنهار تحصل على الماء من الأرض وتفقدها في الأرض. ولازالت معظم مياه الأنهار تأتي مباشرة من مياه الأمطار الجارية على سطح الأرض، والتي تم تعريفها على أساس المياه السطحية الجارية.



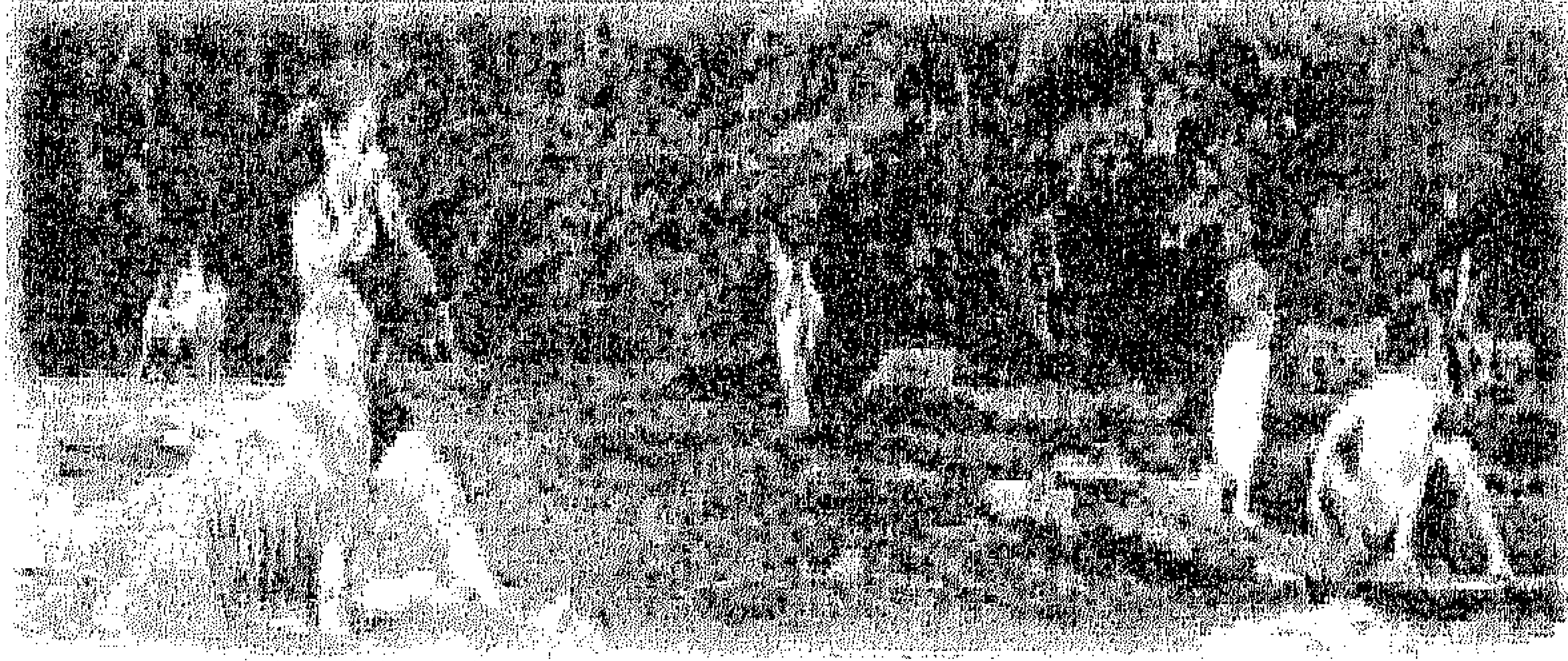
إن بعضاً من مياه الأمطار عادة ما يتسرب إلى داخل الأرض، إلا أنه عندما يسقط على أرض متشبعة، أو غير نافذة، مثل الطرق الأسفلتية، ومواقف السيارات فإنه يبدأ في الجريان على نحو منحدر. ويمكنك خلال هطول الأمطار الغزيرة مشاهدة جداول صغيرة تجري بشكل منحدر على طول مجاري وقنوات موجودة على الأرض متجهة نحو الأنهار. وتوضح هذه الصورة كيفية تدفق وجريان المياه السطحية ودخولها لخور صغير. وفي هذه الحالة فإن المياه السطحية تجري على تربة عارية، ناقلة معها المواد المترسبة إلى النهر (غير مفيدة لجودة الماء). وبدخول هذه المياه السطحية إلى هذا الخور تكون قد بدأت رحلتها مرة أخرى إلى المحيط.

وفيما يتعلق بكل أجزاء الدورة المائية، فإن التفاعل بين التساقط وجريان المياه السطحية يكون متفاوتاً طبقاً للوقت والعوامل الجغرافية. وبنفس القدر فإن العواصف التي تحدث في كل من أدغال الأمازون، والصحراء الواقعة جنوب غرب الولايات المتحدة الأمريكية، سيترتب عليها ظهور أنماط مختلفة من المياه السطحية الجارية. وتتأثر المياه السطحية الجارية بالعوامل الأرصادية والجيولوجيا الطبيعية وطبوغرافية الأرض. ويعود تقريباً ثلث مياه الأمطار التي تسقط على الأرض، وتتدفق في المجاري والأنهار مرة أخرى إلى المحيطات. أما الثلثين الآخرين فإنهما يتعرضان إما للتبخر، أو الارتشاح، أو التسرب إلى داخل الأرض. ويمكن أيضاً للناس الاستفادة من المياه السطحية الجارية في استعمالاتهم الخاصة بهم.

9) تدفق الماء: حركة الماء في النهر

تستخدم دائرة المساحة الجيولوجية الأمريكية مصطلح "تدفق الماء" للإشارة إلى كمية المياه الجارية في أي نهر، أو مجرى.

أهمية الأنهار:



لا تعتبر الأنهار مهمة بالنسبة للناس فحسب، بل أيضاً لكل أنواع الحياة في كل مكان. كما أنها ليست المكان الرئيسي للناس (وكلابهم) لممارسة اللعب واللهو، بل يستخدمها الناس لتوفير مياه الشرب، والري، وتوليد الكهرباء، والتخلص من النفايات (النفايات المعالجة)، ونقل الآليات، والحصول على الغذاء. وتشكل أيضاً الأنهار أهمية بالغة بالنسبة لكل أنواع الحيوانات والنباتات. كما تساعد الأنهار على إبقاء الطبقات الخازنة للماء مليئة بالمياه الجوفية من خلال تسرب الماء إلى باطن الأرض عن طريق مجاريها في القاع. وتظل المحيطات بطبيعة الحال مليئة بالماء، وذلك لأن الأنهار تصب فيها بصورة دائمة.

أحواض الصرف المائي والأنهار:

عند التفكير في الأنهار فمن الأهمية بمكان التفكير في حوض التصريف المائي للنهر. إذن، ما هو حوض التصريف المائي؟ إذا وقفت على الأرض الآن أنظر إلى أسفل. فإنك تقف، وكل واحد منا يقف، على حوض صرف مائي. ولهذا فإن حوض التصريف المائي هو ببساطة مساحة من الأرض تجري عليها مياه التساقط الداخلة

والخارجة نحو نقطة واحدة. ويمكن أن تكون أحواض التصريف المائي صغيرة في حجم بصمة اليد على الطين، أو كبيرة إلى الحد الكافي لتستوعب كل الأراضي التي تسيل منها الماء نحو نهر الميسيسيبي الذي يصب في خليج المكسيك. وتتألف أحواض التصريف المائي كبيرة الحجم من الكثير من الأحواض صغيرة الحجم. وكل ذلك يتوقف على نقطة التدفق؛ فكل الأراضي التي تسيل منها الماء نحو نقطة التدفق تعد بمثابة حوض صرف مائي لموقع التدفق هذا. ويعتبر حوض التصريف المائي مهماً لأن تدفق ماء النهر وجودته يتأثران بالظروف الطبيعية والأنشطة البشرية التي تحدث داخل حوض التصريف المائي.

مجرى الماء دائماً متغير:



يتعرض مجرى الماء إلى تغييرات بصفة دائمة من يوم إلى يوم، وحتى من دقيقة إلى دقيقة. وبطبيعة الحال فإن مياه التساقط الجارية هي التي تؤثر بشكل أساسي على مجرى الماء. ويتسبب هطول الأمطار في ارتفاع منسوب مياه الأنهار، ويمكن أيضاً أن يرتفع منسوب النهر حتى لو هطلت الأمطار في مكان بعيد للغاية عن حوض الصرف المائي. والجدير بالذكر أن الماء الذي يسقط على حوض التصريف المائي سيسيل في نهاية المطاف عن طريق موقع التدفق. ويتوقف حجم النهر على حجم حوض التصريف المائي الخاص به. ويكون للأنهار الكبيرة أحواض صرف مائي كبيرة، والعكس هو صحيح بالنسبة للأنهار الصغيرة. وبالمثل فإن الأنهار بأحجامها المختلفة تتفاعل بشكل مختلف مع العواصف الرعدية؛ فالأنهار الكبيرة يرتفع منسوبها وينزل بشكل أبطأ من الأنهار الصغيرة. وفي أي حوض صرف

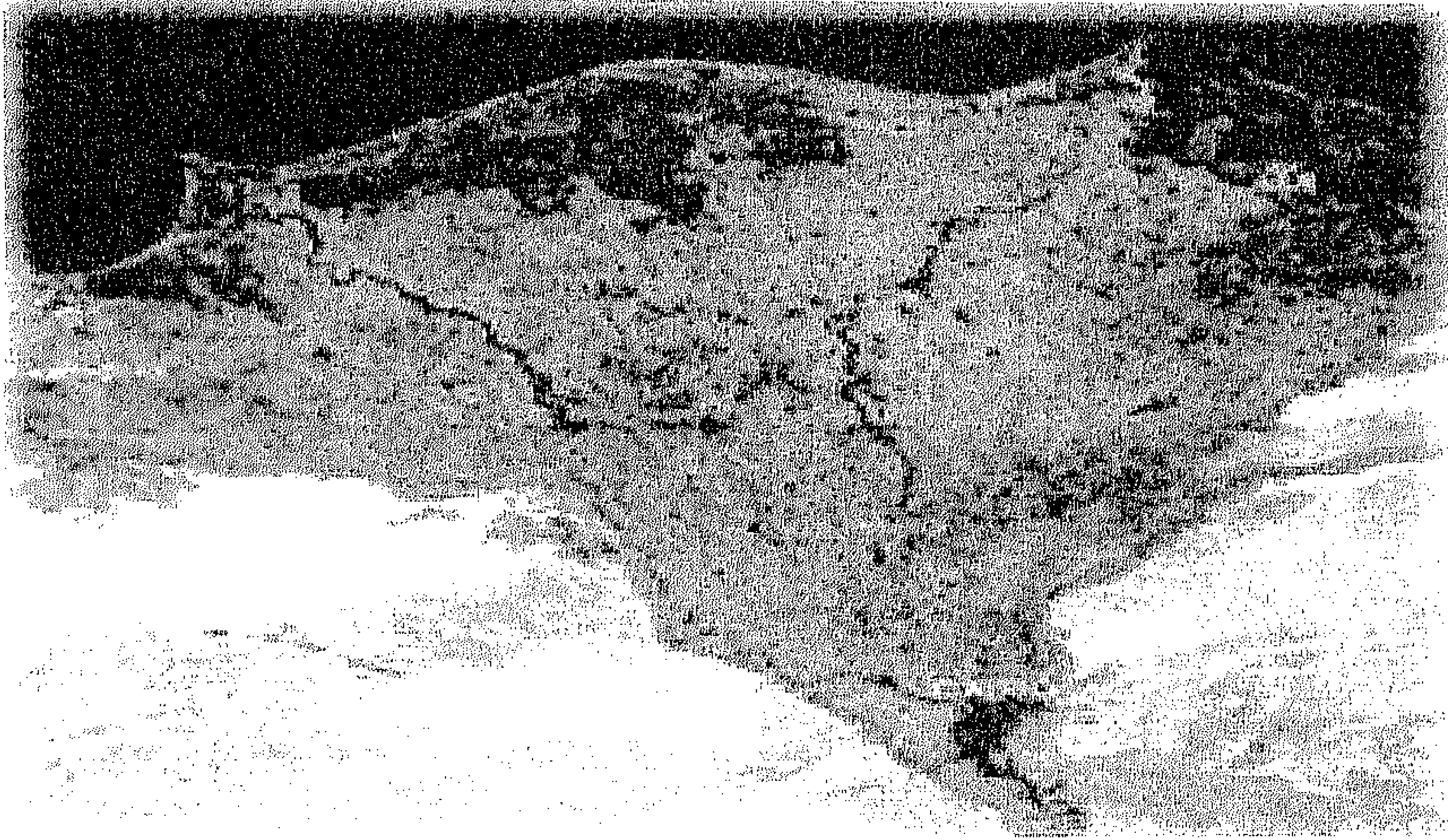
مائي صغير يرتفع منسوب النهر ويخفض خلال دقائق أو ساعات معدودة، أما الأنهار الكبيرة فتستغرق أياماً لارتفاع منسوبها وانخفاضه، ومن ثم يمكن أن يظل الفيضان لمدة أيام لأن كل الماء الذي هطل على بعد مئات الأميال، عند منابع النهر، سوف يستغرق عدة أيام ليسيل من نقطة التدفق.

10) تخزين الماء العذب: يوجد الماء العذب على سطح الأرض:

يعتبر الماء العذب الموجود على سطح الأرض من أجزاء دورة الماء، الذي يعد ضرورياً لكل مناحي الحياة. عليك فقط أن تطلب من جارك نبتة طماطم، أو تروتة، أو بعوضة مزعجة. وتشمل المياه العذبة السطحية كلا من المجاري المائية، والمستنقعات، والبحيرات، ومستودعات الماء الأرضية (بحيرات من صنع الإنسان)، والأراضي المنخفضة الرطبة المحتوية على ماء عذب.

تتعرض المياه الموجودة في الأنهار والبحيرات إلى تغييرات دائمة، نتيجة لكمية المياه الداخلة والخارجة إليها من خلال التساقط، والمياه الجارية على سطح الأرض، والمياه الجوفية، وتدفقات أفرع الأنهار. وتشمل المياه الخارجة عملية التبخر وتصريف المياه السطحية. كما يستخدم الناس الماء أيضاً للوفاء باحتياجاتهم. وتتغير كمية الماء وموقعه على مدى الزمن والمسافات، سواء من الناحية الطبيعية أو بمساعدة الإنسان.

المياه السطحية الجارية تحافظ على إستمرارية الحياة:

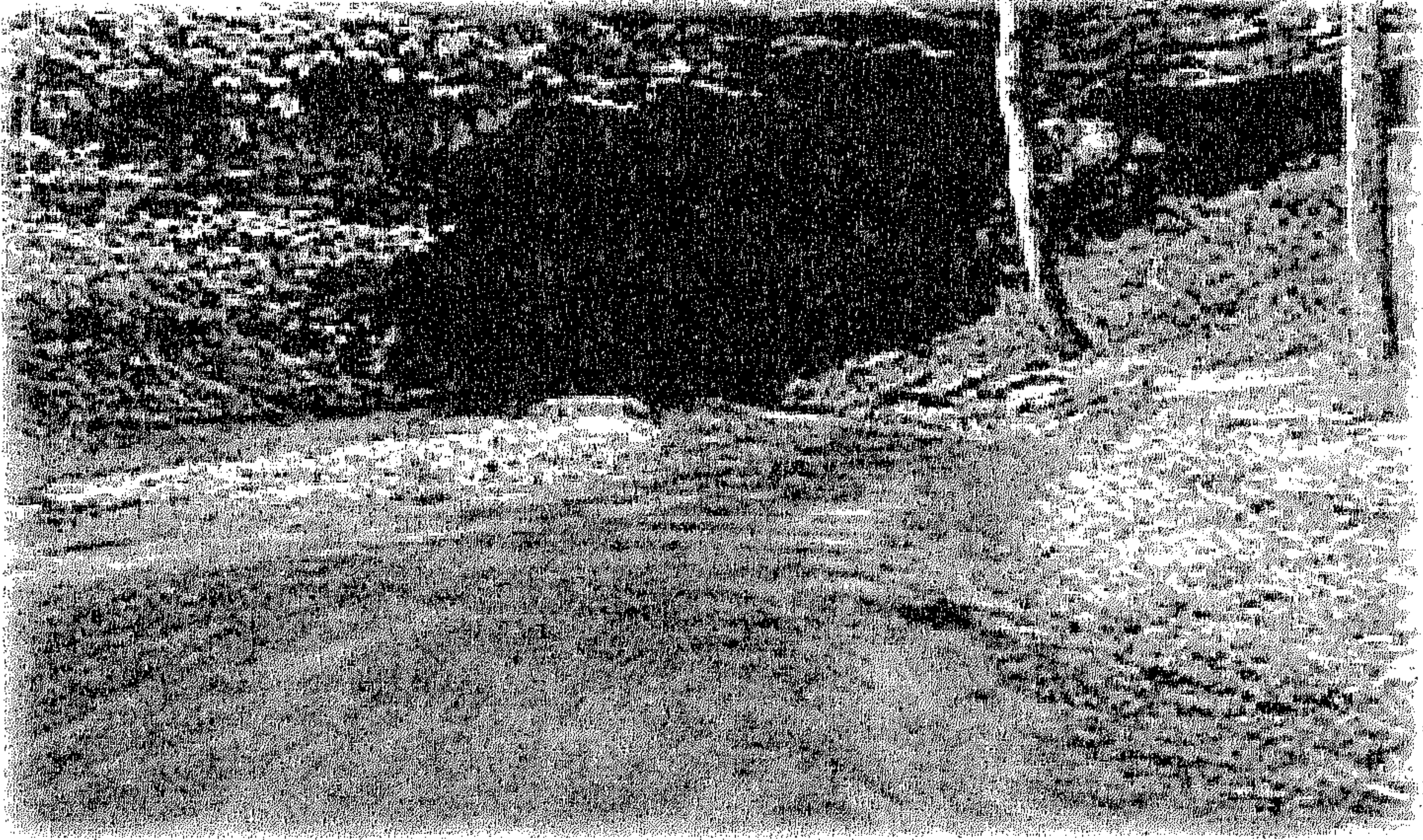


مثلما توضح هذه الصورة التي تبرز دلتا النيل في مصر، فإن الحياة حتى في الصحراء يمكن أن تزدهر إذا توافرت إمدادات مياه سطحية (أو مياه جوفية). إن المياه الموجودة في الأرض تدعم الحياة فعلاً. والسبب في وجود المياه الجوفية هو تسرب المياه السطحية إلى أسفل داخل الطبقات الصخرية الخازنة للماء في جوف الأرض. ولعلكم تتذكرون أن الأسماك التي تعيش في المحيطات المالحة لا تتأثر بالماء العذب غير أنه لولا الماء العذب المطلوب لتجديد المحيطات فإنها ستتبخر وتصبح مالحة للغاية بحيث يتعذر على الأسماك أن تعيش فيها.

تعتبر المياه العذبة نادرة على سطح الأرض حيث إنها تشكل فقط 3٪ من الماء الموجود عليها الأرض. وتشكل مياه البحيرات والمستنقعات العذبة حوالي 0.9٪ من الماء العذب في الكرة الأرضية. ويوجد حوالي 20٪ من المياه العذبة في بحيرة واحدة ألا وهي بحيرة بيكال في القارة الأسيوية ونفس هذه النسبة نفسها نجدها مخزنة في البحيرات الكبرى في الولايات المتحدة الأمريكية. وتحتفظ الأنهار بحوالي 0.006٪ فقط من المياه العذبة في العالم. ولعله يتضح لكم أن الحياة على وجه الأرض لا يمكن أن تستمر من دون الماء.

11) التسرب: حركة الماء من سطح الأرض إلى داخل التربة والصخور التحتية

المياه الجوفية تبدأ كالتساقط:

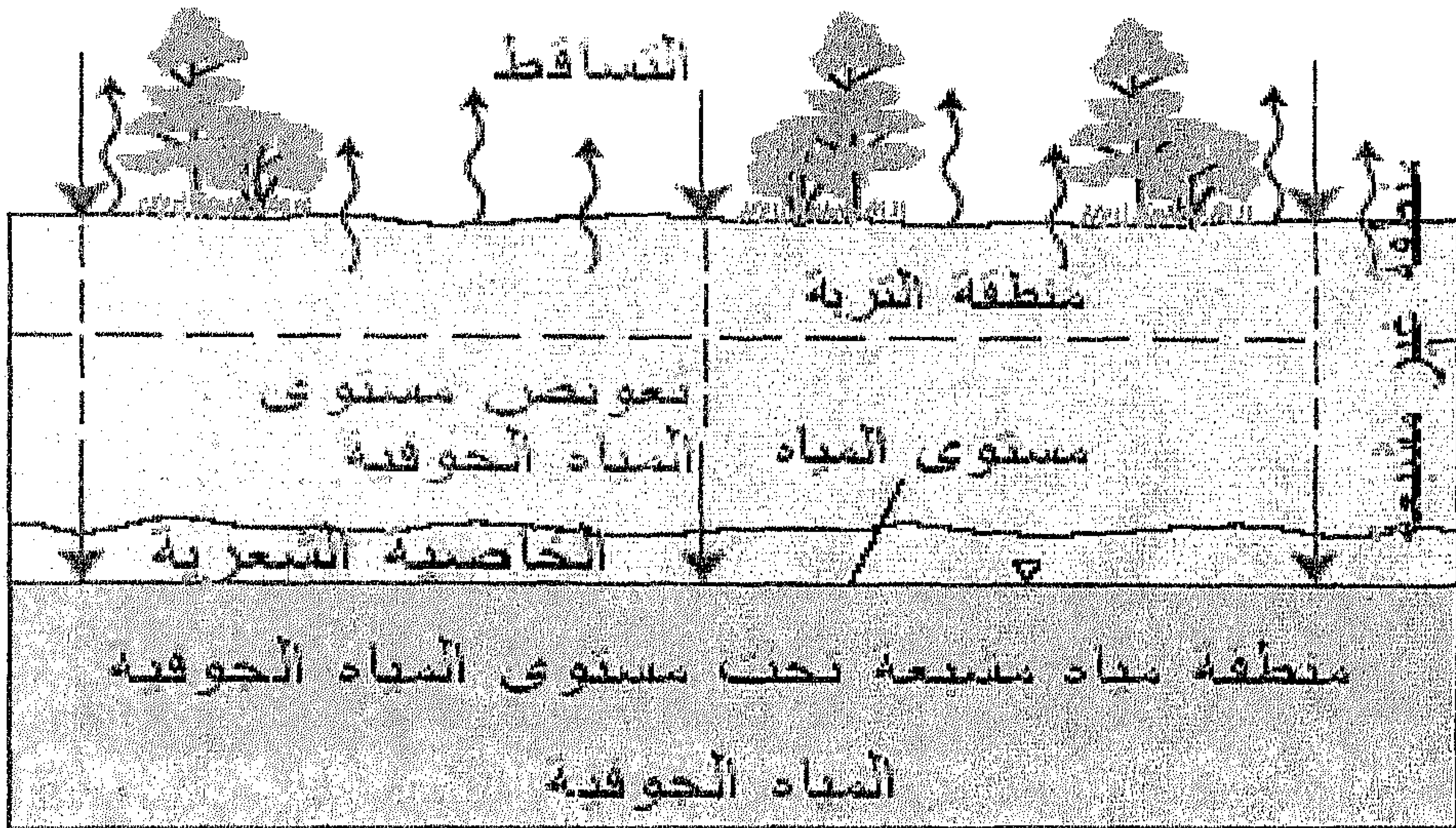


في أي مكان في العالم تتسرب بعض المياه التي تسقط كأمطار أو جليد إلى داخل التربة والصخور تحت السطح. وتتوقف الكمية المتسربة على عدة عوامل، ويمكن أن تكون كمية الماء المتسربة، جراء الأمطار التي تسقط على الغطاءات الجليدية في جرين لاند، ضئيلة للغاية. وكما في هذه الصورة التي توضح اختفاء أحد المجاري المائية داخل أحد الكهوف في ولاية جورجيا بالولايات المتحدة الأمريكية، فإن ذلك يعني أن أي مجرى مائي يمكن أن يتلاشى داخل المياه الجوفية.

بعض المياه التي تتسرب تبقى داخل طبقة التربة الضحلة، حيث يمكن أن تصبح مجرى مائياً من خلال التسرب إلى داخل حوض المجرى. ويمكن أن يتسرب بعض من هذه المياه إلى مسافات أعمق لتغذية مستودعات المياه الجوفية. وإذا كانت هذه المستودعات المائية ضحلة أو مسامية بما فيه الكفاية لتسمح للماء بالتحرك بسهولة من خلالها فإنه يمكن للناس حفر الآبار داخل المستودعات المائية الأرضية، واستخدام الماء في أغراضهم الخاصة. ويمكن أن تنتقل المياه إلى مسافات طويلة، أو

البقاء في مستودع المياه الجوفية لفترات طويلة من الزمن قبل، أن تعود إلى سطح الأرض، أو التسرب إلى داخل الأجسام المائية الأخرى، مثل المجاري المائية والمحيطات.

المياه تحت السطح (تحت السطحية):



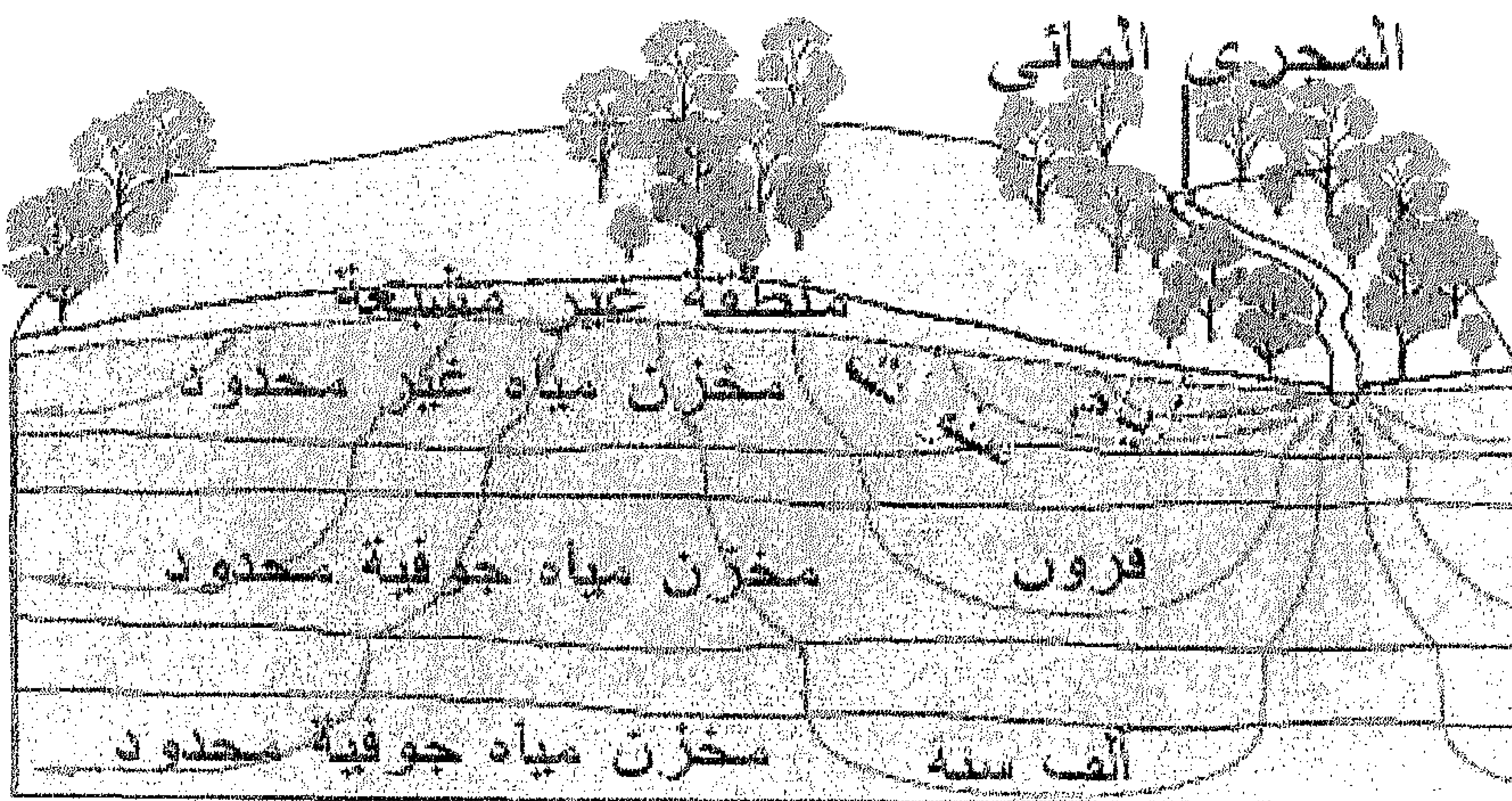
عندما تتسرب مياه الأمطار إلى داخل التربة تحت السطحية فإنها عادة ما تشكل منطقة غير مشبعة وأخرى مشبعة. ففي المنطقة غير المشبعة توجد بعض المياه في فتحات الصخور تحت السطحية، إلا أن الأرض لا تكون مشبعة. ويُعرف الجزء الأعلى من المنطقة غير المشبعة بمنطقة التربة غير المشبعة، التي توجد فيها فراغات خلقتها جذور النباتات التي تسمح بتسرب مياه الأمطار. وتقوم النباتات باستخدام المياه الموجودة في هذه التربة. وأسفل المنطقة غير المشبعة، توجد المنطقة المشبعة، حيث يملأ الماء بصورة كاملة الفراغات الموجودة بين الصخور وذرات التربة. ويمكن للناس حفر الآبار داخل هذه المنطقة وضخ الماء إلى الخارج.

12) تصريف المياه الجوفية– خروج الماء من الأرض:



إنك تشاهد يومياً الماء حولك، مثل، البحيرات، والأنهار، والجليد، والأمطار، والثلوج. وهناك أيضاً كميات هائلة من الماء لا يمكن مشاهدتها بالعين المجردة ، الماء الموجود والمتحرك في جوف الأرض. وقد ظل الناس يستخدمون المياه الجوفية لآلاف السنين لأغراض الشرب والري وهم لا يزالون مستمرين في ذلك إلى يومنا هذا. ولذلك، فإن الحياة على وجه الأرض تتوقف على المياه الجوفية، وبالقدر نفسه على المياه التي توجود على سطح الأرض.

المياه السطحية تتدفق إلى داخل جوف الأرض:

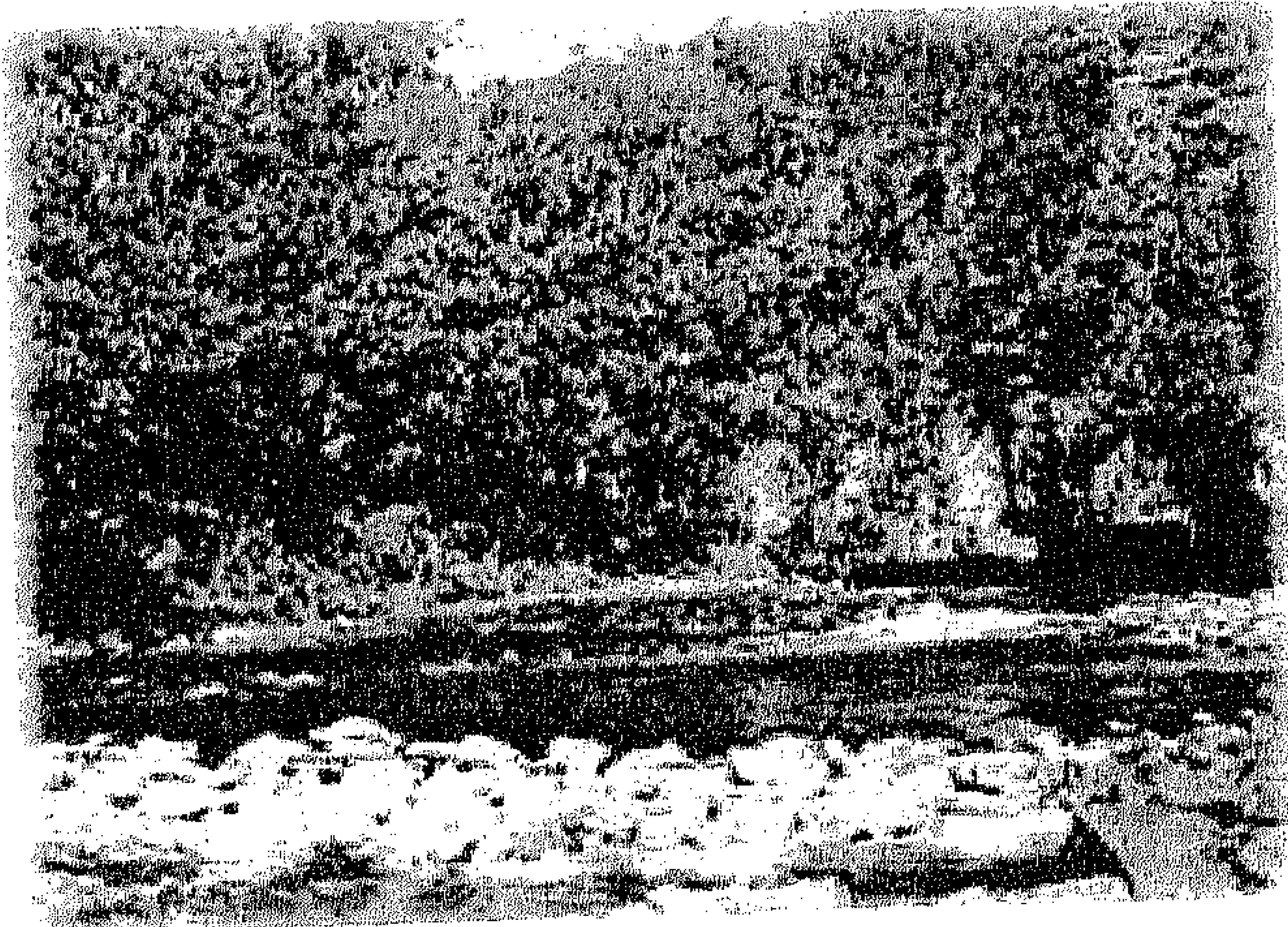


يتسرب جزء من مياه التساقط التي تسقط على الأرض إلى جوف الأرض لتصبح مياهاً جوفية. وبمجرد وجودها في جوف الأرض ينتقل بعضها إلى المناطق القريبة من سطح الأرض، ويخرج بسرعة كتصريف إلى أحواض المجاري المائية، إلا أنه نظراً للجاذبية الأرضية فإن غالبيتها يستمر في التسرب إلى مسافات أعمق داخل جوف الأرض.

حسب ما يوضحه هذا الرسم البياني، فإن اتجاه وحركة المياه الجوفية وسرعتها تحددهما الخصائص المختلفة للمستودعات المائية الأرضية والطبقات الصخرية الحاجزة (الصخور الكثيفة التي يصعب أن تخترقها المياه) في الأرض. وتعتمد المياه التي تتحرك تحت الأرض على قابلية نفاذ (سهولة تحرك المياه أو صعوبته) ومسامية (كمية الفراغات المفتوحة في المادة) الصخور تحت السطحية. وإذا سمحت الصخور للمياه بالتحرك بحرية نسبياً، ففي هذه الحالة يمكن للمياه الجوفية أن تنتقل إلى مسافات طويلة خلال أيام معدودة. ومع ذلك، فإن المياه الجوفية يمكن أيضاً أن تتسرب إلى مسافات أكثر عمقاً داخل المستودعات المائية الأرضية حيث تستغرق آلاف السنين لتعود مرة أخرى إلى البيئة.

13) الينبوع: المكان الذي تخرج منه المياه الجوفية لسطح الأرض

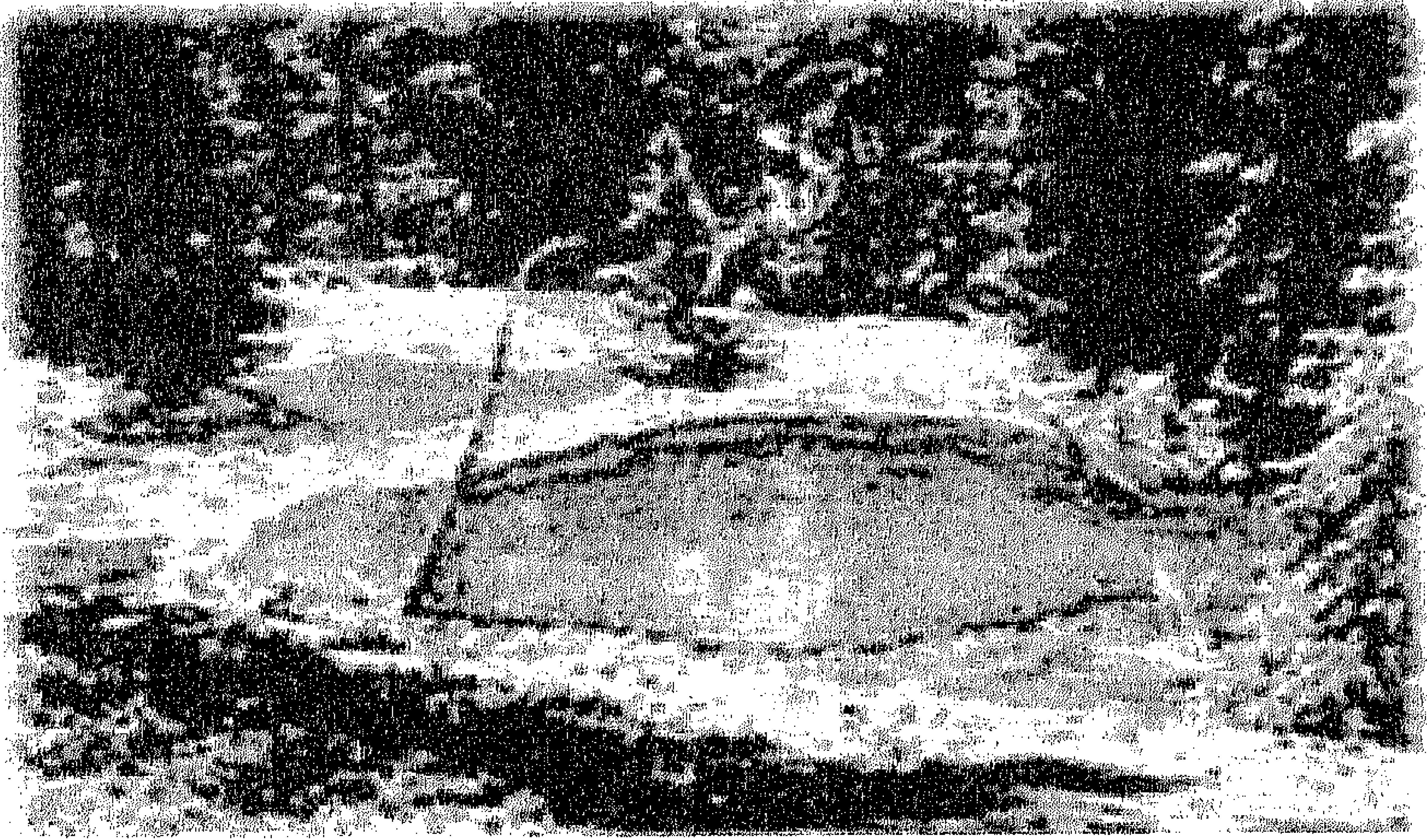
ما هو الينبوع؟



الينبوع هو الماء المتدفق نتيجة امتلاء أحد المستودعات المائية الأرضية إلى النقطة التي تتدفق فيها المياه إلى سطح الأرض. وتتراوح الينابيع من ينابيع صغيرة الحجم، وهي التي تتدفق مباشرة بعد هطول أمطار غزيرة، إلى ينابيع كبيرة، تتدفق منها مئات الملايين من الجالونات يومياً.

يمكن أن تتكون الينابيع داخل أي نوع من أنواع الصخور، غير أنها غالباً ما توجد في الحجر الجيري، وصخور الدولوميت، التي يمكن أن تتصدع بسهولة وتتحلل بمياه الأمطار لتصبح حمضية. وعندما تتحلل وتتصدع هذه الصخور يمكن أن تتشكل الفراغات التي تسمح بتدفق الماء. وإذا كان تدفق الماء أفقياً، فإنه يمكن أن تصل إلى سطح الأرض وبالتالي يتشكل الينبوع.

ماء الينبوع ليس دائماً نقياً:



عادة ما تكون مياه الينابيع نقية. ومع ذلك فإن بعضاً منها قد يكون بلون الشاي، ومثل هذا الينبوع موجود في ولاية كلورادو بالولايات المتحدة الأمريكية. والسبب في اللون الأحمر لمياه الينابيع هو مرور المياه الجوفية وملامستها مواد معدنية موجودة تحت الأرض، مثل الحديد. ويمكن أن يشير خروج المياه الملونة بشكل

كبير من الينابيع إلى تدفق المياه بسرعة من خلال قنوات كبيرة داخل المستودعات المائية الأرضية دون أن تتمكن الصخور من تنقيتها لإزالة اللون.

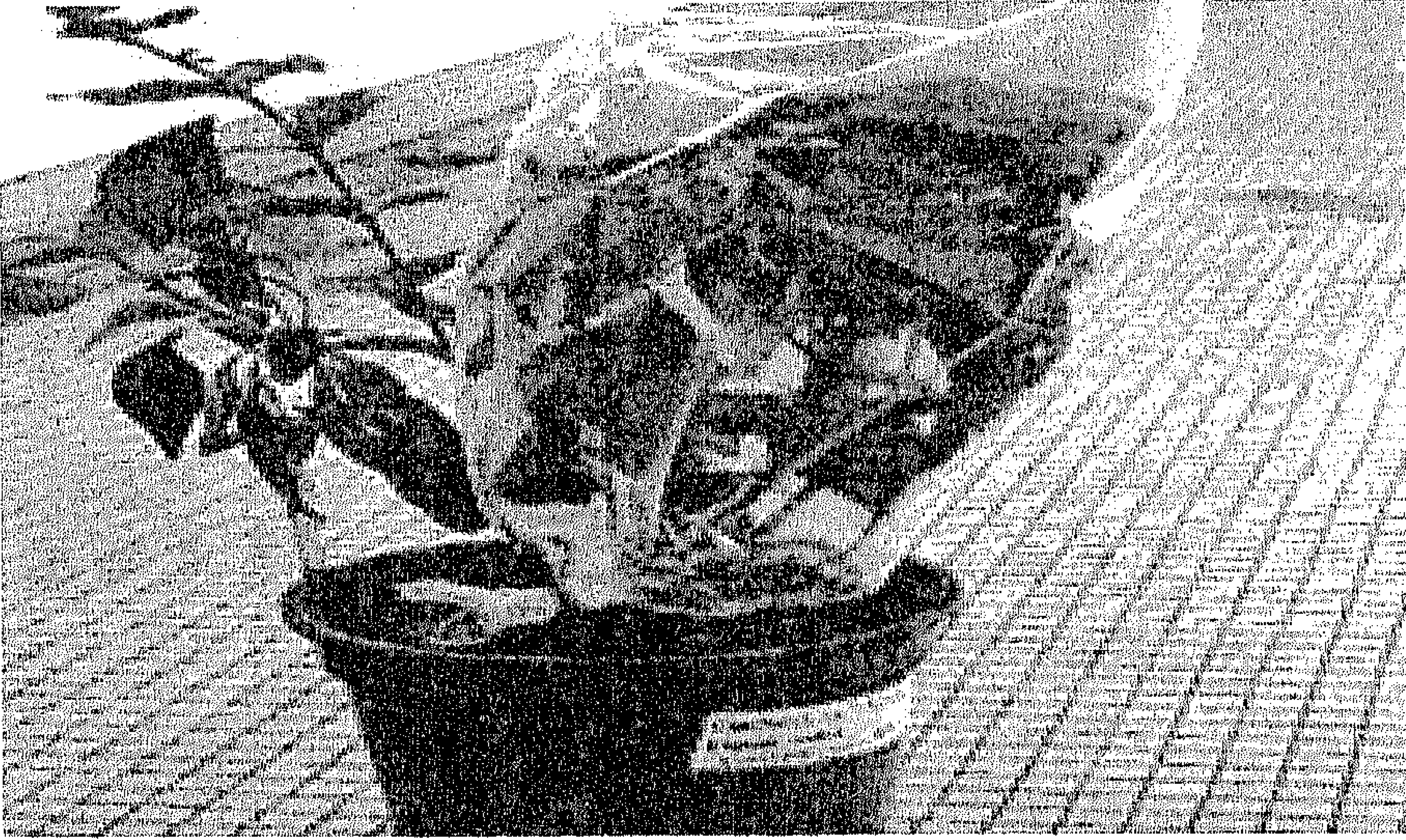
الينابيع الحرارية:



الينابيع الحرارية عبارة عن ينابيع عادية، ولكن الماء فيها عادة ما يكون دافئاً، وفي بعض الأماكن حاراً، مثل الينابيع التي تخرج فقاعات الوحل في حديقة يلوستون الوطنية، في وايومينج بالولايات المتحدة الأمريكية. وتحدث العديد من الينابيع الحرارية في المناطق التي شهدت مؤخراً نشاطاً بركانياً، حيث تسخن المياه من خلال ملامستها الصخور الحارة الموجودة على مسافات بعيدة تحت سطح الأرض. ومع ازدياد العمق فإن المياه تصبح أكثر دفئاً، وإذا تعمقت تحت الأرض فإنها تصل إلى فجوة كبيرة تشكل مساراً إلى سطح الأرض يمكن أن يؤدي إلى حدوث ينبوع حراري. وتحدث الينابيع الحرارية في كل أنحاء العالم، ويمكن أن تتعايش مع الكتل الجليدية كما هو واضح في هذه الصورة.

14) الارتشاح: تبخر الماء من أوراق النبات إلى الغلاف الجوي

الإرتشاح وأوراق النبات:



الارتشاح:

هو العملية التي تنتقل بموجبها الرطوبة من منطقة الجذور، عن طريق النبات، إلى مسامات صغيرة في الجانب السفلي لأوراق النبات، حيث تتحول إلى بخار يخرج إلى الغلاف الجوي. إذن، الارتشاح هو تبخر الماء من أوراق النبات. وأشارت التقديرات إلى أن حوالي 10٪ من الرطوبة الموجودة في الغلاف الجوي تخرج من النباتات عن طريق الارتشاح.

إن الارتشاح عملية تتعذر رؤيتها بالعين المجردة وطالما أن الماء يتبخر من سطح أوراق النبات فإنه لا يمكنك أن تخرج بكل بساطة وتشاهد أوراق النبات وهي ترتشح. ويمكن لورقة النبات خلال موسم النمو أن ترتشح عدة مرات بمعدل يفوق وزنها. ويمكن أن يرتشح فدان من محصول القمح حوالي 11.400– 15.100 لتر من الماء (حوالي 3.000 – 40.000 جالون) في اليوم. وتستطيع شجرة البلوط الكبيرة أن ترتشح 151.000 لتر (40.000 جالون) في السنة.

العوامل الجوية التي تؤثر على الارتشاح:

تختلف كمية المياه التي ترتشحها النباتات بشكل كبير من الناحية الجغرافية وعلى مدى الزمن. وتوجد عدة عوامل تحدد معدلات الارتشاح:

درجة الحرارة: ترتفع معدلات الارتشاح مع ارتفاع درجات الحرارة، خصوصاً خلال موسم نمو النباتات، وهو الوقت الذي تكون فيه حرارة الجو أد& أكسفورد، نيويورك، المجلد 2 ص 817 – 828.

الحوض النهري:

الحوض النهري هو مجموع المساحة الطبوغرافية التي يتم تصريفها بواسطة نهر وروافده، ويفصل عن الحوض المجاور بواسطة خط تقسيم المياه الذي يتبع خط الأعراف، ولا يقطع المجرى إلا عند نقطة محطة القياس.

وفي الحالة الأخيرة يكون تحديد الحوض عند النقطة إلا أنه يمكن أن يكون هذا التحديد عند السد ونادرا ما نجده عند تحديد المصب أو الواد. وهكذا فجميع المياه التي تتساقط أو تنبع داخل هذه المساحة أو الحوض، لا بد أن تمر عبر محطة القياس إذا لم تتبخر وتتسرب في باطن الأرض قبل أن تصل إلى محطة القياس.

وفوق الخريطة الطبوغرافية يمكن تحديد حدود الحوض النهري بتتبع خط الأعراف إذا تعلق الأمر بالحوض الطبوغرافي أو الهيدروغرافي وقد لا يصادف هذا الأخير الحوض الهيدروجيولوجي الذي يغذي النهر.

جيومورفولوجية الأحواض المائية:

- الخصائص الحوضية الشكلية.
- الخصائص التضاريسية.
- الشبكة المائية.

1) الخصائص الحوضية الشكلية:

تتمثل الخصائص الحوضية الشكلية بما يلي:

أ. نسبة الاستطالة Elongation Ratio.

$$\text{نسبة الاستطالة} = \frac{\text{طول قطر دائرة بنفس مساحة الحوض/كم}}{\text{أقصى طول للحوض/كم}} \times 100$$

تصف نسبة الاستطالة امتداد مساحة الحوض المائي بمقارنتها بشكل مستطيل وترتفع نسبة الاستطالة في الأحواض الطويلة وتشير نسبة الاستطالة إلى الدلالات التالية:

1. أن الحوض المائي يمر في بداية دورة التعرية بمرحلة الشباب حيث أن الأنهار عادة تبدأ بحفر مجاريها وزيادة طولها بالحت التراجعي ولا تمارس الحت الجانبي إلا في مراحل حتية متأخرة.
2. يكون الصخر السائد غالباً صخراً صلباً مقاوم للحت.
3. إذا كان الامتداد الطولي للحوض المائي عبر دوائر عرضية متعددة وباتجاه الشمال يصبح المناخ أكثر تنوعاً يجعل منطقة المنابع ضمن النطاق الرطب وبيئة المصب بالنطاق الجاف أما امتداد الحوض بشكل موازي لدوائر العرض يكون التنوع المناخي محدود.
4. زيادة نسبة الاستطالة يصبح التضرس محدود والانحدار معتدل.
5. قد تنتج الأحواض المستطيلة عن عوامل تكتونية دون عوامل حت.
6. الأحواض المستطيلة تعرضها للفقدان المائي بسبب التبخر والتسرب.
7. تكون جريانات ثانوية قصيرة وغير ومتفرعة إضافة للمجرى الرئيس.
8. يكون الناتج الرسوبي للأحواض المستطيلة يكون منخفض.

9. مناطق تقسيم المياه تكون ضيقة وقليلة التعرج بسبب قلة الحت الجانبي في الأحواض المستطيلة.
10. قمة التصريف أو الفيضان تتأخر في الوصول للمصب بسبب طول المسافة وزيادة التبخر في حال سقوط أمطار غزيرة.

ب. **نسبة استدارة الحوض Circularity:**

$$\text{نسبة الاستدارة} = \frac{\text{مساحة الحوض / كم}^2}{\text{مساحة دائرة يساوي محيطها محيط الحوض نفسه/كم}^2} \times 100$$

لتصف اقتراب خطوط تقسيم المياه للحوض من محيط دائرة منتظمة تصف استدارة الحوض مدى تعرج أو تداخل خطوط أو مناطق تقسيم مياه لحوض معين مع الأحواض المجاورة وأقصى مرحلة.

يمكن أن يصل إليها الحوض عندما تختفي التعرجات ويصبح محيط الحوض منطبقاً مع محيط الدائرة عندها تبلغ نسبة الاستدارة 100٪ وهنا يوصف الحوض أنه بلغ قمة التطور والحت الجانبي والتراجعي.

- **دلالات تفاوت نسبة الاستدارة:**

1. ترتفع نسبة الاستدارة في الصخور الضعيفة لارتفاع معدلات الهدم.
2. ترتفع نسبة الاستدارة في الأقاليم الرطبة لوفرة المياه لممارسة الحت.
3. قصر أطوال المجاري الرئيسة وطول الروافد.
4. يشير ارتفاع نسبة الاستدارة إلى كبر المساحة الحوضية.
5. يصل الفيضان قمته في أقصر وقت أثر حدوث الأمطار الغزيرة.
6. ارتفاع كمية الأمطار المساحية والتبخر والتسرب.
7. ارتفاع كميات الناتج الرسوبي.
8. قد تنتج الاستدارة عن عوامل تكتونية.

ج. معامل شكل الحوض Form Factor:

$$\text{شكل الحوض} = \frac{\text{مساحة الحوض / كم}^2}{\text{مربع طول الحوض/كم}^2}$$

ويصف معامل الشكل مدى انتظام عرض الحوض على طول امتداده من المنبع إلى المصب ولكن مع ثبات الطول قد يتعرض عرض الحوض لأحد الاحتمالات التالية:

1) ثبات العرض من المصب إلى المنبع ويكون شكله هنا مستطيل إذا كان الطول أكبر من العرض أومربع إذا تساوى العرض مع الطول.
2) تفاوت عرض الحوض من المنبع إلى المصب وهنا احتمالات هي:

= يكون الحوض أعرض ما يمكن عند المنبع ويتناقص بشكل تدريجي منتظم نحو المصب.

= يكون الحوض أعرض ما يمكن عند المنبع ويتناقص بشكل غير منتظم نقصان تارة وزيادة تارة أخرى نحو المصب.

= يكون الحوض أعرض ما يمكن عند المصب ويتناقص بشكل تدريجي منتظم نحو المنبع.

= يكون الحوض أعرض ما يمكن عند المصب ويتناقص بشكل تدريجي غير منتظم نحو المنبع.

دلالات شكل الحوض (تباين نسبة العرض إلى الطول) هي:

1. مدى تقدم الحت الجانبي: يرتبط تزايد عرض الحوض بالحت التراجعي للأقنية الجانبية المتفاوتة النشاط بسبب اختلاف الانحدار ونوع الصخر وان الجريانات المائية التي تمتاز بمنحدرات سحيقة وتكويناتها من صخور ضعيفة

يتم احتساب المعامل الهبسومتري بعد توقيع قيم الارتفاع النسبي وما يقابلها من مساحات نسبية لعدد من خطوط الكنتور وبعد وصل نقاط التقاطع لكل من المتغيرين تحسب المساحة التي تقع أسفل المنحنى الهبسومتري ويعادل ذلك المعامل الهبسومتري للحوض، ويعتبر المعامل الهبسومتري مقياساً زمنياً يعبر عن المرحلة الحتية التي تمر بها الأحواض المائية كما تشير إلى كمية المواد الصخرية التي لا تزال تنتظر دورها في العملية الحتية.

الخصائص التضاريسية ودلالاتها البيئية والحوضية:

1. الدلالات الصخرية:

الأحواض ذات الصخور الصلبة أكثر تضرساً وانحداراً وتطور معامل هبسومتري أعلى من الأحواض ذات الصخور الضعيفة.

2. الدلالات البنائية:

تختلف الأحواض فيما بينها حسب الحركات التكتونية فمثلاً الارتفاع التكتوني في المنابع والهبوط أو الهبوط عند المصب يؤدي إلى زيادة التضرس والانحدار.

3. الدلالات المناخية:

الأحواض في المناخ الجاف تكون أكثر تضرساً وانحداراً ومعامل هبسومتري من الأحواض في المناخ الرطب.

3) الشبكة المائية Drainage Networks:

تتكون الشبكة المائية من الفروع والروافد إضافة إلى المجرى الرئيس والتي تحدد من خلال الخرائط الطبوغرافية أو من خلال الصور الجوية والفضائية ومن الشبكة المائية يمكن تحديد وتفسير مزاياها ودلالاتها البيئية والحوضية.

وفيما يلي تفصيلاً لبعض جوانب الشبكة المائية التالية:

أ. نشأة وتطور الشبكة المائية.
ب. خصائص الشبكة المائية.
ج. محددات خصائص الشبكة المائية.
د. ترابط خصائص الشبكة المائية.

أ) نشأة وتطور الشبكة المائية:

الأمطار أهم مصدر للجريان السطحي والمسئول عن نشأة وتطور الأقنية بعد وصول التربة إلى درجة التشبع عند المنابع والتي تبدأ بجريان غشائي يتحول إلى جريان سطحي ثم قنوي مع زيادة كمية الأمطار وقلة النبات.

قطرات المطر والجريان الطبقي عوامل مساعدة لزيادة نشاط الحفر القنوي بإزالة المواد الصخرية المفتتة وتوفير كفاءة تصريفية لمباشرة عملية الحفر القنوي ولكن يجب توافر أربعة شروط لتطور الجريان القنوي هي:

1. تكرار عملية الجريان السطحي.
2. أن تكون قوة الجريان أكبر من مقاومة الصخر.
3. يجب تجميع المياه السطحية في نطاق الحت.
4. يجب أن يكون الحفر بعمق معين لضمان استمرار التدفق.

مع تزايد عمق الجريان مع الابتعاد عن خطوط تقسيم المياه (نطاق الاتعرية) نحو المنحدرات سوف تزداد الطاقة الحتية مع تزايد المسافة مما يسمح بنشأة الأقنية المائية وقد يتم ذلك من خلال المراحل التالية:

1. مرحلة البداية.
2. زيادة طول القناة.
3. الامتداد القنوي الشامل.
4. الدمج من خلال التقاء والأسر النهري.

تتوقف عملية الحفر بعد تحول الجريان من النشاط الحتي إلى النشاط الإرسابي بسبب قلة الانحدار وتزايد الحمولة ولكن قد تعود عملية الحفر في بيئة المصب إذا زادت كمية التصريف.

ب) خصائص الشبكة المائية:

1. طول الشبكة المائية Stream Length يتم بواسطة عجلة القياس.
2. عدد المجاري المائية Stream Number العدد مهما كان حجم المجرى.
3. الكثافة التصريفية Drainage Density = مجموع أطوال الشبكة /كم ÷ المساحة الحوضية / كم^2
4. التكرار النهري Stream Frequency = عدد المجاري النهرية ÷ المساحة الحوضية
5. رتبة النهر Stream Order يتم تمييز المجاري النهرية حسب ترتيبها وحجمها واقترحت عدة طرق لتحديد الرتب النهرية (هورتون، ستريلر، شريف، شايديغر) يعتبر نظام ستريلر أكثر انتشاراً.

6. معامل التشعب Bifurcation Ratio = عدد الأقنية من رتبة معينة N / عدد الأقنية من الرتبة N+1

يصف معدل التشعب مدى الاختصار أو الاندماج الذي تخضع له الأقنية مع تطورها أو زيادة رتبتها وعادة يتناقص عدد المجاري المائية مع زيادة رتبتها بحيث يصل إلى مجرى واحد وهو الرئيس.

7. معدل القوام الحوضي Texture Ratio

= مجموع النتوءات البارزة في أي خط كنتوري في الحوض المائي / طول محيط الحوض نفسه

8. معدل القوام الإقليمي The Weighted Mean Value

= مجموع(حاصل ضرب المساحات الحوضية كل في معدل قوامها الحوضي / مجموع المساحات الحوضية

- إذا معدل القوام 4 أو أقل يعتبر السطح وعراً.
- إذا معدل القوام 4 – 10 يعتبر السطح معتدل الوعورة.
- إذا معدل القوام أكثر من 10يعتبر السطح منبسط.

9. نمط الشبكة المائية NetworkPattern: تختلف أنماط الشبكة المائية في الأحواض المائية من منطقة لأخرى ذات الأنواع التالية:

- النمط الشعاعي–6 Radial Pattern.النمط المتعامد Rectangular. Pattern
- النمط المركزي –7 Centripetal Pattern.النمط الريشي Pinnate. Pattern

- النمط المتوازي—8ParallelPattern.النمط الحلقيAnnularPattern.
- النمط الشجري Dendritic Pattern.
- النمط الشعري أو التكعيبيTrellis Pattern.

10. أنماط الشبكة المائية:

- النمط المركزي.
- النمط الشعاعي.
- النمط المتعامد.
- النمط المتوازي .
- النمط الشجري.
- النمط الشعري.

ج) محددات الخصائص الشكلية:

العوامل البيئية والحوضية التي تخضع لها خصائص الشبكة المائية هي:

1. المناخ:

اختلاف خصائص الأمطار(الكمية، التركيز، الفاعلية) من حوض لآخر وحتى في الإقليم الواحد وتعتبر الأمطار مصدراً أساسياً للتصريف المائي المسئول عن نشأة وتطور الشبكة المائية فهطول الأمطار بغزارة وتكرار يؤدي إلى زيادة التصريف المائي وبالتالي زيادة الحفر القنوي مما يؤدي لزيادة طول وعدد المجاري والكثافة التصريفية ولكن إذا زادت الأمطار لحد كبير عن الحد الحرج فإنها تصبح لها آثار سلبية كارتفاع كثافة الغطاء النباتي والتي تزيد من معدل التسرب وإضعاف الحت القنوي.

تتأثر كثافة التصريف بفاعلية التساقط فقد تصل الكثافة التصريفية إلى حدود عليا في المناطق التي تنتشر فيها نباتات مبعثرة ولكن تتناقص هذه الكثافة مع

تزايد المساحة النباتية أما إذا كانت الكثافة النباتية بدرجة كبيرة عندها يكون التشبع كامل للتسرب يقلل من تأثيرها على الجريان المائي.

2. نوعية الصخر:

نوع الصخور تؤثر في طول وعدد وكثافة الجريانات المائية من خلال قابليتها للحت القنوي في ظل عدم تأثير العوامل الأخرى عندها تزداد الكثافة التصريفية في الصخور الضعيفة قليلة النفاذية الكثيرة التشققات والمفاصل الصخرية عندها يتم تزايد التصريف المائي السطحي على حساب الجريان الباطني.

3. الحركات التكتونية:

يبدو واضحاً تأثير الحركات التكتونية في خصائص الشبكة المائية من خلال عمليات الرفع عند المنبع أو الهبوط عند المصب واضطرابات مختلفة مسببة تضرس السطح وانحدار الحوض مما يزيد من الطاقة الحتية القنوية بل قد تصل إلى حالة التصابي، هذه العمليات تؤدي إلى زيادة أعداد أطوال وأعداد الشبكة المائية والكثافة التصريفية ونمط الشبكة.

د) ترابط خصائص الشبكة المائية:

تشكل خصائص الشبكة منظومة ذات علاقات متداخلة بحيث يمكن تفسير بعض هذه الخصائص وقد أصبحت دراسة هذه العلاقات بين الخصائص من خلال أساليب الإحصاء ومن أمثلة ذلك.

- وجود علاقة طردية بين الكثافة التصريفية ونسبة التضرس الحوضي والتكرار النهري ومعدل التشعب والقوام.
- وجود علاقة عكسية بين الكثافة التصريفية مع مساحة الحوض والمعامل الهبسومتري.

- وجود علاقة طردية بين التكرار النهري مع نسبة التضرس وعكسية مع مساحة الحوض والمعامل الهبسومتري.
- وجود علاقة طردية بين رتبة النهر مع مساحة الحوض والتصريف المائي وطول المجرى.
- وجود علاقة عكسية بين رتبة النهر مع متوسط انحدار النهر وعدد المجاري.

جيومورفولوجية الأودية النهرية:

اهمية الأنهار:

الأنهار هي عبارة عن جريانات مائية قنوية تنتمي إلى أحواض مائية محددة ذات خصائص متباينة (تصريف، طول، انحدار، أهمية)، تعتبر الأنهار مصدراً مائياً للشرب والاستعمالات المنزلية لا بل هناك استعمالات أخرى تتمثل بـ:

1. مياه ري للزراعة المروية خاصة في الراضي الجافة مما سمح بنشأة الكثير من المشاريع لذا ارتبط التوسع الزراعي بمواقع الأنهار.
2. مصدراً لصيد الأسماك.
3. النقل إذ يعتبر أهم وأيسر وأرخص وسائل النقل لسكان الأودية كما الحال في نهر المسيسبي والأمازون والنيل.
4. إقامة الأنشطة الترفيهية والرياضية والدينية وإقامة مشاريع توليد الطاقة الكهربائية وحدود سياسية بين الدول.
5. من الناحية العلمية لدراسة متغيرات الموازنة المائية (تساقط وتبخر ونتح وتسرب) ومن الناحية الجيومورفولوجية لتفسير كثيراً من التغيرات البيئية عبر الزمن.

نشأة الأودية والأنهار:

تجري الأنهار في الأودية ولكل نهر وادي فقد يشكل النهر الوادي وقد تتكون الأودية بدون أي جريان ولكن كلاهما (النهر والوادي) يمتدان بشكل طولي من مناطق عليا وهي المنابع وينتهيان بمناطق المصب فقد ينطبق نمط النهر على نمط الوادي في كثيراً من الحالات كأن يمتد الوادي بشكل مستقيم بينما يتعرج النهر وغالباً ما تكون الأنهار أطول من الأودية والعكس نادراً وقد يهجر النهر واديه أو يختفي كما الحال في الأودية الجافة.

يتعرض النهر لتغيرات في خصائصه عكس الوادي الأكثر ثباتاً واستقراراً في نفس الوقت تعتبر الأنهار أكثر استجابة لتغيرات الأودية كالهبوط والرفع، أما مساحة المقطع العرضي لكل منهما تقتصر على المقطع العرضي المبلل بالماء والتي تحتل أدنى منسوب للوادي فالمقطع العرضي للأودية يعكس الاضطرابات التكتونية والتنوع الصخري والمناخية مما يؤدي إلى عدم انتظام انحداره وتجزئته.

تختلف العمليات الجيومورفولوجية التي تتم على السفوح (انهيارات، انجراف تربة) عن تلك التي تقوم بها الأنهار(حت، نقل، وترسيب) وأن معظم الحمولة الرسوبية للأنهار تصدر عن السفوح.

أسباب تكون الأودية هي:

1. الحركات التكتونية الصدعية.
2. الحركات التكتونية الالتوائية.
3. الحت الريحي.
4. الحت المائي.

وفيما يلي بعض التفصيل لهذه الأسباب:

1. الحركات التكتونية الصدعية:

قد تؤدي الحركات التكتونية إلى تكون الأغوار أو أودية غورية أو خوانق فقد ينشأ الغور نتيجة هبوط في الأجزاء الوسطى و/أو ارتفاع الجوانب مع بقاء الأجزاء الوسطى ثابتة والتي تمتاز بالاستقامة وشدة انحدار جوانبها أما قيعانها فهي تمثل الطبوغرافيا الأصلية قبل حدوث الحركات التكتونية وينتج عن تشكيل الأودية الغورية انقطاع التكوينات الصخرية والحاملة للمياه مما يساعد في نشأة الينابيع أو الشلالات التي تصب في الوادي.

2. الحركات التكتونية الالتوائية:

تتكون الأودية فعل الحركات التكتونية التي تنتهي بتكوين الحاجز والجبل حيث تتحول المقعرات إلى أودية متوازية والمحدبات إلى حواجز جبلية ويتوقف طول وانحدار جوانب الأودية على شدة واتجاه الحركات التكتونية.

3. الحت الريحي:

الحت الريحي أحياناً يؤدي إلى تكوين أودية حيثما تتواجد الصخور الضعيفة والتي تتميز بالتشققات والمفاصل التي تزيد من تأثير الرياح فيها وخاصة في الأقاليم الجافة شديدة الرياح قليلة العوائق ذات التربة الرقيقة والغطاء القليل، تتميز الأودية في الأراضي الجافة بالاستقامة والانحدار الشديد لجوانبها.

4. الحت المائي والانقلاب التضاريسي:

- أسباب تكون الأنهار:

1. وجود جريان مائي.
2. قناة أو وادي.

تتفاوت نسبة التصريف إلى التساقط في الأقاليم المختلفة (نسبة التساقط 76٪ في التندرا، 9٪ استبس، 5٪ شبه صحراوي).

العوامل المحددة لحجم التغذية المائية للأنهار هي:

1. العوامل المناخية (نوع التساقط، مدته، كميته، تركيزه، فصليته).
2. العوامل الجيولوجية (حركات تكتونية، نوع الصخر).
3. العوامل الجيومورفولوجية (خصائص الحوض).
4. الغطاء النباتي (نوعه، كثافة).
5. استعمالات الأرض.

وفيما يلي استعراضاً لبعض التفاصيل:

1) العوامل المناخية:

أ. كمية التصريف.

ب. استمرارية التصريف.

ج. اختلاف التصريف (العامل المناخي الأهم في تحديد خصائص التدفقات المائية النهرية).

أ) **كمية التصريف:** ترتبط كمية التصريف بنوع وتوزع وزمان ومكان التساقط فالأمطار الغزيرة تؤدي إلى زيادة كمية التصريف لأن التسرب يكون قليل أما إذا كان التساقط ثلجي عندها يكون التصريف قليل بسبب ارتفاع معدلات التسرب.

تركز الأمطار= (كمية الأمطار ÷ زمن العاصفة).

هناك علاقة طردية بين تركز الأمطار وكمية التصريف والعكس صحيح خاصة إذا ترافق ذلك مع زيادة التبخر.

يختلف التصريف المائي للأقنية تبعاً لمساحة العاصف بالمقارنة مع مساحة الحوض فإذا كانت العاصفة كبيرة والحوض مساحة صغيرة فأنها مساحة الحوض كامل أما إذا كانت العاصفة صغيرة والحوض كبيرة عندها لا تغطي العاصفة كامل الحوض وبالتالي تفاوت التصريف في كلا الحالتين.

ب) **استمرارية التصريف:** تصنف الجريانات المائية من حيث استمرارها إلى دائمة وفصلية ومؤقتة.

الجريانات الدائمة وهي تلك الجريانات المستمرة الجريان طوال العام والذي ينتشر عادة في الأقاليم الرطبة.

الجريانات الفصلية وهي تلك المعتمدة على نظام التساقط الفصلي الذي يعقبه فصل جفاف ويعتبر هذا النوع من الجريان الأكثر انتشاراً.

الجريانات المؤقتة هي تلك الجريانات التي تحدث عقب العواصف الماطرة إذ يرتبط زمن الجريان بمدة العاصفة المتراوح بين عدة ساعات إلى بضعة أيام.

ج) **اختلاف التصريف:** يرتبط انتظام التصريف بانتظام التساقط فوق الأحواض بصورة منتظمة على جميع شهور السنة عندها يكون التصريف والعكس صحيح.

2) **العوامل الجيولوجية** العديد من العوامل الجيولوجية تؤثر في التغذية المائية النهرية من خلال:

- اضطراب مناسيب سطح الأرض: الارتفاع التكتوني يؤدي إلى انخفاض الحرارة وزيادة الأمطار والعكس صحيح.
- تقطع الطبقات الصخرية بسبب الحركات الصدعية وانكشاف الطبقات الحاملة للمياه مما يؤدي إلى تفقد الينابيع والشلالات.

- حدوث محدبات تؤثر على حركة المياه الجوفية حسب ميل الطبقات غالباً تستقر المياه على طول محور الطية المقعرة.
- نوعية الصخور المتباينة النفاذية والمسامية تؤثر في معدلات التسرب التي تؤدي انخفاض التصريف السطحي لحساب الجوفي كما في الصخور الجيرية التي يتسرب اليها معظم التساقط أما إذا كانت الصخور قليلة النفاذية فيؤدي إلى انخفاض معدلات التسرب.

3) العوامل الجيومورفولوجية:

تتأثر كمية التصريف بالعوامل الجيومورفولوجية (انحدار، مساحة، شكل، خصائص الشبكة).

- علاقة طردية بين الانحدار والتضرس مع التصريف من خلال سرعة الجريان وانخفاض التسرب.
- علاقة طردية بين مساحة الحوض وزيادة الأمطار مع التصريف.
- كلما زادت الكثافة والتكرار ورتبة النهر زاد التصريف المائي.
- الأحواض المستديرة اكثر تصريفاً من المستطيلة.
- الأحواض الممتدة باتجاه العاصفة أعلى تصريفاً من الممتدة عكس العاصفة.

4) العوامل النباتية:

يؤثر الغطاء النباتي في التصريف النهري من خلال زيادة معدلات التسرب والتبخر والنتح حيث تعمل أوراق النبات على تلقى الأمطار ثم انسيابها عبر الأغصان ثم السيقان قبل وصولها الأرض ليتكون جريان الساق وكلما زادت كثافة الغطاء، تعمل النباتات على خفض رطوبة التربة في فصل الجفاف من خلال النتح مما يزيد من كمية المياه المتسربة وقت العاصفة على حساب التصريف.

5) استعمالات الأرض:

استعمال بري، زراعي، رعوي، عمراني، هيدرولوجي كإقامة سدود، فعملية تغيير الاستعمال تعمل على اضطراب التوازن البيئي في عناصر النظام الحوضي كقطع الغابات التي تزيد كمية التصريف كما أن أعمال البناء أيضاً تزيد من التصريف.

مصادر التغذية المائية النهرية:

1. التغذية المطرية:الأمطار المصدر الرئيس للتصريف النهري وتتفاوت نسبة التغذية من إقليم لآخر(استوائي، صحراوي، شبة جاف).
2. التغذية الثلجية: الأنهار والتصريف النهري تعتمد على الثلوج بعد ذوبانها.
3. التغذية الجليدية: الجليد يساهم في رفد الأودية بعد الذوبان صيفاً.
4. التغذية المختلطة: وهي اشتراك عدة مصادر.
5. التغذية الصناعية: سدود،خزانات مياه الأمطار،اقنية.
6. التغذية المستنقعية والبحيرية (بحيرات ومستنقعات).
7. التغذية بالمياه الباطنية: هذه التغذية مرتبطة بمستوى المياه الجوفية.

الخصائص الجيومورفولوجية للجريانات المائية:

1. نشاط الأنهار.
2. مظاهر الحت والترسيب النهري، وفيما يلي شرحاً لهذه الجوانب.

الخصائص الجيومورفولوجية التي تعتمد عليها الأنهار في نشاطها:

1. طاقة النهر (Stream Energy).
2. كمية التصريف المائي.(Stream Discharge).
3. سرعة النهر (Velocity) .
4. أنواع الجريان (Types of Flow):(غشائي، متهيج).

5. شكل المجرى المائي .(Channel Shape)
6. نمط النهر(Stream Pattern) :(مستقيم، متعرج، متشعب).
7. انحدار الأنهار.(Slope of Streams)
8. نشاط الأنهار(Stream Work) :(حت، نقل، ترسيب).

1) طاقة النهر (Stream Energy):

ترتبط عمليات الحت والنقل والترسيب بفعل الأنهار ونشاطها الجيومورفولوجي بما يسمى بطاقة النهر بنوعيها الكامنة والحركية،إذ أن الاحتكاك بين بين جزيئات الماء والمقطع العرض للمجرى يقلل من الطاقة الحركية بسبب خصائص القناة نفسها (خشونة، استقامة) وما يبقى من طاقة تكون محدودة تستعمل في نشاط النهر من حت ونقل وترسيب والتي تقدر بـ 5٪ ولكن هذه الطاقة قد تتزايد حال انخفاض طاقة الأحتكاك.

الطاقة الكامنة للنهر= وزن × الارتفاع

الطاقة الحركية = 2/1حجم الماء × مربع سرعة الماء .

لكن تعتمد الكلية للنهر على عوامل عدة هي:

1) سرعة الجريان.
2) الانحدار.
3) كمية المياه ولزوجته.
4) طبيعة المقطع العرضي للنهر.

2) كمية التصريف المائي (Stream Discharge)

التصريف النهري يتكون من كمية المياه المتوفرة في وحدة زمنية معينة وموقع محدد $م^3$/ث كمية.

التصريف = مساحة المقطع العرضي للقناة × معدل سرعة النهر عند هذا المقطع.

كمية التصريف النهري هي انعكاس للظروف البيئية السائدة في الحوض مثل (كمية الأمطار، توزعها، معدل التسرب، الغطاء النباتي، نوعية الصخور) مع الأخذ بعين الإعتبار هذه العوامل أنها متفاوتة من نهر لآخر. يجب التأكيد على أن سرعة الجريان هي العامل المؤثر الأكثر في كمية التصريف أكثر من المقطع العرضي للقناه.

سرعة الجريان ترتبط بدرجة الانحدار بعلاقة طردية لكن كمية التصريف ترتبط بتناقص الانحدار بسبب تجمع المياه السطحية المنقولة من الروافد باتجاه المصب التي عندها تتدنى السرعة وتزداد الحمولة أي علاقة طردية بين التصريف والحمولة-.

3) سرعة النهر (Velocity)

العوامل التي تعتمد عليها سرعة المياه في الأقنية المكشوفة متعددة منها (1)درجة الانحدار(2)عمق المياه(3)خشونة القاع.

معدل سرعة الماء = معامل ثابت × الجذر التربيعي لنصف القطر المائي × الانحدار (معامل تشينزي).

تختلف سرعة الجريان من مكان لآخر ومن مقطع لآخر حيث الحقائق التالية:

- تكون سرعة الجريان عند السرير صفراً وتزداد هذه السرعة مع الارتفاع عن السرير كما أن متوسط السرعة في وسط القناة.
- تنخفض سرعة الجريان بالاتجاه نحو الجوانب وترتفع وسط المجرى.
- تتباين السرعة على طول المقطع الطولي للنهر التي تتناقص باتجاه المصب وذلك مع تناقص الانحدار وزيادة الحمولة.

اتجاهات سرعة الجريان هي:

1. راسي(البعد عن السرير).
2. عرضي.
3. طولي.
4. زماني.

4) أنواع الجريان (Types of Flow):

تصنف أنواع الجريانات حسب طبيعة حركة الجزيئات إلى:

أ) الجريان الغشائي:

وهو ذلك الجريان الذي يتكون من غشاء رقيق من الماء يجري فوق أقنية ملتصقة بسطح الأرض الخالي من التضرس والذي يتكون هذا الجريان بعد زخات المطر الأولى في الأجزاء العليا من الحوض.

ب) الجريان المتهيج:

وهو الجريان الذي يتكون عند زيادة كمية الجريان ودرجة الانحدار وخشونة السطح والذي يمتاز بحركة دوامية غير منتظمة ويقسم الجريان المتهيج

إلى نوعين هما المتدفق والشلالي مع التأكيد على أن عمق وسرعة الجريان هي التي تحدد نوعية الجريان المتهيج.

شكل المجرى المائي (Channel Shape) شكل المجرى = عرض المجرى / عمق المجرى

كلما انخفضت قيمة شكل المجرى كلما دل على أن عمقه أكبر من عرضة وتدل زيادة العمق على ضيق النهر عندها يزداد التصريف كما أن شكل الحوض يشير إلى نوعية الصخور أو التربة وبشكل عام يزداد العرض على حساب العمق.

تأخذ المقاطع العرضية للأنهار أشكال مختلفة فمنها الضيق ذا الضفاف شديدة الانحدار شكل U (مرحلة الشباب) ومنها واسع وضفاف أقل انحداراً شكل V(مرحلة النضج) ويعتبر هذا الشكل هو نتاج تفاعل الظروف المناخية مع التضرس مع نوع الصخر مع البناء الجيولوجي فمثلا الأنهار في الأقاليم الاستوائية تكون عميقة وضيقة بسبب كثافة الغطاء النباتي.

قيمة شكل المجرى ترتفع في الصخور الضعيفة وتنخفض في الصخور الصلبة.

قيمة شكل المجرى ترتفع في المنحدرات المعتدلة وتنخفض في المنحدرات السحيقة.

قيمة شكل المجرى ترتفع باتجاه المصب وتنخفض في المنابع.

5) نشاط الأنهار:

هي تلك الأوجه المختلفة من النشاطات التي تقوم بها الأنهار(حت Erosion، نقل Transportation، ترسيب Deposition) وسنبدأ بأنواع الحت وهي:

1. الحت الكيميائي Corrosion: الذي يتم من خلال تحلل أو ذوبان مواد صخرية أو معدنية بفعل المياه كما في صدأ الحديد أو بعض أشكال الحت الساحلي في الصخور الجيرية أو أي عملية نشاط كيميائي.
2. الحت الآليCorrosion: هي تآكل سطح الأرض ميكانيكياً من خلال المواد التي يحملها النهر والذي قد يكون بشكل رأسي فيعمق النهر.
3. الكشط: وهي تآكل سطح الصخور بفعل الماء الجاري وما تحمله.
4. الحفر Evorsion: وهي ما ينتج من قص بواسطة الحركات الدوامية بدون استخدام المواد الرسوبية.
5. الاقتلاع المائي: وهي إزالة المواد المفتتة بفعل تباين الضغط المائي عل الصخور.

عمليات الحت لا تتم إلا بتوفر ظروف معينة مثل العمق والانحدار والتي تتوفر بعيدةً عن خط تقسيم المياه المتفاوت العرض بسبب تباين الحت التراجعي في المراتب الدنيا من المجاري ولكن في المجاري الوسطى يزداد النشاط الحتي Active Erosion أما في الأجزاء الدنيا من النهر تمثل نطاق الترسيب للحمولة.

خصائص الماء الجاري التي يعتمد عليها النشاط الحتي المائي هي:

أ) القوة الحتية Eroding Force: التي تعتمد على وزن وعمق الماء وزاوية الانحدار.

ب) السرعة الحتية Erosion Velocity: وهي السرعة الحرجة أو أدنى سرعة للماء الجاري تبدأ عندها حبيبات الرواسب بالتحرك مع العلم بأن السرعة

الحتية اللازمة لجرف المواد الرملية أدنى من السرعة اللازمة لجرف الغرين أو المواد الحصوية وأن السرعة الحتية تزيد مع تزايد حجم الرواسب.

نقل الرواسب:

قوة الجر الحرجة: هي تلك القوة اللازمة لإزالة المواد المفتتة من أماكنها في الماء. (تتناسب قوة الجر الحرجة تناسباً طردياً مع حجم الحبيبات). إن الرواسب تتحرك حتى لو كانت سرعة النهر منخفضة في حالة توفر العمق والانحدار،كما أن الرواسب صغيرة الحجم تنقل في الماء بحد حرج من العمق والانحدار ففي المنحدرات الدنيا من نهر النيل تزداد كمية الرواسب الناعمة العالقة رغم تناقص الانحدار.

طرق نقل الرواسب النهرية هي:

1. الانزلاق Sliding.
2. التدحرج Rolling.
3. القفز Saltation.
4. التعلق Suspension.

تعتمد طريقة النقل على شكل وحجم الرواسب وعمق وسرعة الماء فمثلاً الغرين والطين تنقل بالتعلق أما الرواسب الكبيرة كالجلاميد والحصى تنقل بالانزلاق أو بالتدحرج إذا كانت مستديرة الشكل أما الرواسب الرملية فإنها تنقل غالباً بالقفز.

انواع الحمولة حسب طرق نقلها هي:

1) الحمولة الذائبة Dissolved Load

تتكون هذه الحمولة من المواد الصخرية والمركبات الناتجة عن عملية الذوبان الصخور والمعادن وتزداد كمية الحمولة الذائبة في البيئات الذائبة المنخفضة التضرس التي تعرضت طويلاً للحت والتجوية وقد تصل نسبتها إلى 99٪ من حمولة النهر ولكن تنخفض هذه الحمولة في البيئات الجافة التي تنخفض فيها عمليات التحلل الكيميائي.

2) الحمولة العالقة:

وهي الحمولة المكونة من الغرين والطين حيث ترتفع نسبتها على نسبة المواد الذائبة ويختلف توزع الحمولة العالقة في المقطع العرضي حسب العمق حيث تتركز أكبر حمولة عند السرير مع التناقص نحو السطح وقد تزداد الحمولة العالقة مع زيادة التصريف المائي للأنهار.

3) الحمولة السريرية:

تتكون من الرواسب كبيرة الأحجام التي تنقل بالتدحرج أو الانزلاق وتنقل الرواسب المستديرة الشكل بسهولة أكثر من مسطحة الشكل كما ان حمولة النهر السريرية تعتمد على سعة النهر(اكبر كمية من الحصى بحجم معين يستطيع النهر أن ينقلها) وكفاءته(وزن أكبر كتلة صخرية يمكن أن ينقلها النهر) يمكن القول أن هناك علاقة بين طردية بين الانحدار والتصريف مع السعة النهرية وأن هناك علاقة عكسية بين تشابه الرواسب والسعة.

الترسيب النهري:

يحدث الترسيب إذا:

1) زادت الحمولة عن السعة.
2) زاد حجم الرواسب عن الكفاءة تحدث عملية الترسيب بشكل تدريجي حسب:

- حجم الرواسب وتناقص.
- الانحدار.
- والتصريف.
- وسرعة الجريان فأول ما ترسب الحمولة الكبيرة الحجم ثم الأصغر فالأصغر إلى أن تصل إلى المصب والسرعة التي تترسب عندها الرواسب بسرعة الإستقرار وتتأثر هذه السرعة بـ:(1) شكل (2)وحجم (3)ووزن الرواسب (4)وحرارة (5)ولزوجة بيئة الترسيب.

تنتج الأنهار أشكال حتية وأخرى ارسابية على طول المجرى والتي تختلف من نهر لآخر ومن وقت لآخر ولكن بشكل عام فإن الأجزاء العليا والوسطى من الأنهار تسودها مظاهر الحت أما الأجزاء الدنيا فيسودها الترسيب حيث تتطور إشكال الحت فوق المكاشف التي تخضع للحت أما الترسيب فيتطور بفعل تجمع الرواسب بأشكال وأحجام مختلفة والأنهار تميل إلى أيجاد حالة التوازن بين نشاط الحت والترسيب أي أن كمية المواد المنحوتة تساوي ككمية المواد المترسبة.

مظاهر الحت والترسيب:

وفيما يلي شرحاً مفصلاً لهذه المظاهر:

1) الأودية وشبكة الأقنية المائية:

المياه الجارية هي العامل الرئيس في نشأة الأقنية والأودية والتي تتكون بعد تكون الجريان المتهيج الذي تحول عن الجريان الغشائي التي تزداد فعاليتها مع تزايد كمية التصريف والانحدار وسرعة الجريان وتتطور رتبة المجاري من الروافد إلى المجرى الرئيس الأعلى رتبة ويمارس الجريان عمليات الحت الرأسي والجانبي وغالباً ما تعكس الأقنية والأودية التي تنشأ بفعل الأنهار خصائصها وكذلك الخصائص الحوضية والبيئية العامة ويمكن إيجاز أهم الدلالات القنوية النهرية وهي:

- يُحدد اتجاه الحت المائي معامل شكل القناة والوادي فألحت الرأسي يؤدي إلى تعميق المجرى أما الحت الجانبي فيوسع المجرى.
- يؤثر انحدار النهر وكمية التصريف المائي على نمط الوادي فقد يلجأ إلى تعرج مجراه عندما لا يتناسب انحداره مع التصريف مثلاً.
- قد يهجر النهر مجراه القديم ويكون مجرى جديد نتيجة وجود البحيرات أو زحزحة صدعية جانبية عند المصب.
- قد يعمق النهر مجراه فيؤدي إلى تكون مصاطب صخرية أو رسوبية.
- تفرض الخصائص الصخرية للوادي انتظام أو تجزؤ الانحدار النهري.
- غالباً ما تكون الأنهار أكثر طولاً وأقل انحدار من أوديتها.
- حمولة الأنهار تكون من عمليات الحت في سرير وجوانب الوادي.
- تتصف الأودية بالاستمرارية والديمومة بعد تشكلها عكس التصريف المائي المتأثر بالتغيرات المناخية.

2) المصاطب النهرية Stream Terraces

قد يتعرض سرير النهر لحت رأسي بسبب هبوط تكتوني أو تغير مستوى الأساس ومع استمرار التعميق تنكشف نطاقات صخرية أو رسوبية على طول المجرى لتكون المصاطب (فالمصاطب الصخرية تتكون نتيجة تعميق النهر في الطبقات الصخرية المتتالية أما المصاطب الرسوبية فتتكون من تعميق النهر في سهله الفيضي).

بسبب الهبوط التكتوني في بيئة المصب تعمل على تصابي عمليات الحت الرأسي بحيث تمكن النهر من تعميق مجراه مكوناً عدداً من المصاطب مع تعاقب المناخ الجاف والرطب تتطور المصاطب النهرية إثر كل عملية تعميق ويمكن تمييز هذه المصاطب حسب نشأتها إلى مجموعتين هما:

أ) مصاطب الذبذبات المناخية والمرتبطة بتعاقب الحت والترسيب والتي تكون متناظرة.

ب) مصاطب تكتونية (توالي الرفع والهبوط التكتوني).

3) الجروف، الكويستا، الميزا، الشاهد:

يرتبط وجود الجروف بطبقات صخرية سميكة ومقاومة المنتشرة على طول المجرى التي تؤدي لتكون شلالات أو أودية المعلقة.

الكويستا هي عبارة عن مكاشف طبقات صخرية أحادية الميل تتعرض أجزائها العليا إلى حت رأسي وجانبي تؤدي لتطور منحدر سحيق على أحد جانبي النهر.

الميزا أو الموائد الصحراوية وهي عبارة عن هضاب صخرية متقطعة بفعل الحت الماء تتميز باستواء السطح وانحدار شديد للجوانب أما الشاهد فهو يمثل مرحلة متقدمة من الميزات المتأثرة بالحت المائي.

4) العتبات الصخرية Pediments

عبارة عن شكل ممتد على شكل رصيف صخري متسع نسبياً الواقع أسفل مقدمة السفوح التلية التي تتحول من منحدرات سحيقة إلى معتدلة بشكل مفاجئ بانحدار(3 – 4)درجة وقد يصل من ثلث درجة 10 درجات متخذة الشكل المقعر والمنتشرة في الأقاليم الجافة وشبه الجافة.

قد تحيط بالعتبات الصخرية الكتل الجبلية المتطورة عنها لتشكل طوقاً يستمر في التطور على حساب الكتل الجبلية لتتحول في النهاية إلى مجموعة من التلال الصخرية القبابية أو الانسلبرغ.

طرق الحت المائي التي تتكون من خلالها العتبات الصخرية هي:

- الحت التراجعي للمنحدرات.
- الحت الرأسي للمنحدرات.
- الحت الجانبي للأنهار.
- الحت الجديلي.
- الحت الطبقي. إضافة إلى عمليات التجوية.

5) الأراضي الوعرة:

هي أحد أنواع الطبوغرافيا التي تعرضت لعوامل التعرية المائية الناتج عن زيادة الجريان المائي مع ضعف التكوينات التي تكون في الغالب رواسب هشة غير متماسكة عندها يتحول السطح إلى سلسلة من الأقنية والروابي والمسلات والأعمدة غير المنتظمة.

الانقلاب التضاريسي:

هي عملية تحول الأراضي المرتفعة إلى منخفضة وبالعكس نتيجة عمليات جيومورفولوجية (حت مائي) وتحدث هذه العملية بحالتين هما:

أ) وجود محدبات صخرية تتميز بـ:

1. ضعف نطاق قمة المحدب والمنتشر بها الشقوق والمفاصل.
2. ضعف مركز المحدب
3. استمرار عمليات التجوية في المكاشف الصخرية.
4. ظروف مناخية رطبة هذه المميزات من شأنها أن تحول قمم المحدبات إلى أحواض صخرية منخفضة.

ب) وجود تكوينات صخرية متفاوتة الصلابة بحيث تكون الأجزاء المرتفعة أقل صلابة من الأراضي المنخفضة.

عناصر النظام النهري:

يتكون النظام النهري من مجموعة من العناصر، وهي بالأساس:

الحوض النهري:

ونقصد بالحوض النهري كل المساحة الأرضية التي تضم جميع أجزاء النهري من روافده العليا الرئيسية إلى الثانوية والثلاثية والرباعية وهكذا حتى المصب، ويتم تحديد الحوض النهري في الخريطة الطبوغرافية بكل سهولة اعتمادا على خطوط تسمى بخطوط تقسيم المياه أو خطوط تساوي المياه وفق خطوط منحنيات التسوية، وبعبارة أخرى أعلى المناسيب التي تضم الحوض النهري، بحيث أنه أثناء التساقطات؛ كل نقطة ماء تسقط في أي جزء من أجزاء الحوض النهري فإنها تنحدر إلى المجرى الرئيسي داخل الحوض أما عبر هذا المجرى بنفسه مباشرة

أوعن طريق المجاري الثانوية والثلاثية والرباعية... إلخ التي تصب فيما بعد في المجرى الرئيسي للحوض النهر.

وادي النهر ومجراه:

وهو المنخفض الطويل الذي تجري فيه الحمولة النهرية، وهو ناتج عن نحت النهر للمجرى النهري الذي تجري فيه الحمولة عن طريق ثلاثة أنواع من النحت؛ أولا هناك النحت الرأسي وهو يتم عن طريق الضغط والاندفاع القوي للمياه بالإضافة إلى جيولوجية المنطقة أي خصائص الصخور وطبيعتها، مما يؤدي إلى تعمق المجرى رأسيا. ثانيا هناك النحت الجانبي، وهو عبارة عن توسيع للمجرى النهري من الجانبين وهذا ناتج عن ارتطام المياه بضفاف المجرى بواسطة قوة وضغط المياه الشيء الذي يؤدي إلى انهيار هذه الضفاف تدريجيا وتصبح جزءا من الحمولة النهرية وتقوم بنفس الوظيفة التي كانت تعمل ضدها وبالتالي توسع المجرى النهري وبالإضافة إلى هذا العامل هناك عوامل أخرى تساهم في هذا النحت نذكر من أهمها الانحدار ونوعية الصخور وطبيعتها ثم أخيرا كمية التساقطات المتساقطة. ثم أخيرا هناك النحت التراجعي والذي يتم عن طريق احتكاك الماء الجاري بالمجرى مع المواد المكونة للوادي أي الصخور والتربة وغيرها، ثم يقوم الوادي بحمل هذه المواد الشيء الذ يؤدي إلى زيادة طول المجرى النهري وهذه المواد هي التي يطلق عليها الحمولة النهرية وعلى العموم بالرغم من هذا التعقيد في المجرى النهري إلا انه يشغل جزءا صغيرا من واديه الأصلي.

فعل الأنهار في تشكيل سطح الأرض:

- تعد الأنهار أعظم عوامل تشكيل سطح الأرض، وإظهاره بالصورة التى نراها، فهي القوة العظمى في نحت الجبل وحفر الأودية، وبناء السهول الفسيحة التي قامت عليها الحضارات البشرية.
- فالنهر يتكون من تجمع مياه الأمطار على شكل مسيلات، تتلاقى في جداول تنحدر على سطح الأرض، لتتجمع مرة أخرى في مجار مائية محدودة الإتساع،

لتتلاقى في مجار أكبر، وهكذا حتى تكون مجرى نهري يشق طريقه في القشرة الأرضية حتى يصب في أحد المسطحات البحرية، أو ينتهي في أحد الأحواض الداخلية فلا يصل للبحر مثل بحيرة تشاد، أو البحر الميت، أو بحر قزوين وغيرها، ويسمى النهر في هذه الحالة باسم النهر الداخلي أو التصريف المائي الداخلي.

النظم المائية للأنهار:

- هناك بعض الحالات تساعد على حفظ مستوى مياه النهر دائماً، ومن هذه الحالات مثلاً وجود بحيرات في مجرى النهر، فهي تمده بالمياه، وتعمل بمثابة الخزانات التي تمد النهر بالتدريج بما يحتاجه من مياه.
- وكذلك قد توجد بعض الغابات والنباتات التي تعترض مجرى النهر، فتعوق سرعة جريانه، فتتجمع مياهه ثم تنصرف بالتدريج – وقد يكون للنهر عدة روافد، تعمل كمصادر دائمة للمياه، وهكذا... وعلى كل حال – مهما كانت الأنهار منتظمة في جريانها، إلا أنه عادة يكون لها موسم فيضان وموسم انخفاض.
- وفي الجهات الحارة غالباً ما تكون الأمطار هي سبب الفيضان، أما في الجهات الباردة، فيتحكم عامل البخر في زيادة مياه النهر (شتاء) ونقصانه (صيفاً).
- وهناك بعض الأنهار التي تفيض في الربيع وأوائل الصيف. وهي الأنهار التى تغذيها الثلوج الذائبة في هذا الوقت بالذات، خصوصاً إذا جاء الربيع دافئاً بعد شتاء قارس طويل.
- وتتوقف سرعة جريان النهر على كثير من العوامل أهمها مايلي:

– مصادر المياه عند المنابع العليا، وبصفة خاصة كميات المطر الساقطة على منابعه العليا وتوزيعها الموسمى، والمصادر الأخرى لمياه الأنهار مثل العيون والينابيع وانصهار الجليد.

– درجة انحدار المجرى.

- شكل القناة المائية.
- نوع الصخر ونظامه.
- طبيعة الحمولة النهرية.
- درجة الحرارة ودورها في تحديد نسبة التبخر.

انماط شبكات التصريف النهري:

•تختلف أشكال الشبكات النهرية تبعا للظروف الجيولوجية، وحجم وموسمية الأمطار الساقطة، ودرجة الانحدار الأصلى لسطح الأرض، إلى جانب نوع الغطاء النباتى بالاقليم.

أهم انماط شبكات التصريف النهري مايلي:

1. التصريف النهري المتوازي، ويرتبط بالمناطق الانكسارية،إلى جانب سواحل البحر المتراجعة.
2. التصريف النهري الشجري، ويرتبط بالأنهار التى تشق مجاريها في مناطق متجانسة من حيث صلابة تكويناتها الجيولوجية.
3. التصريف النهرى الاشعاعى، الذى يرتبط بالمناطق القبابية، حيث تنبع مجاريه من نقطة مركزية عند قمة القبة الصخرية، وتتحرك الحمولة المائية لنظم التصريف المائى في جميع الاتجاهات.
4. التصريف النهرى المركزى، عكس النظام السابق، ويرتبط بالمناطق الحوضية، حيث تصب النظم المائية نحو نقطة مركزية.
5. التصريف النهرى الريشى، يرتبط هذا النظام بالحافات الانكسارية، التى يمتد المجرى الرئيسى للنهر موازيا لها، مع إلتقاء مجموعة من الروافد المقطعة للحافة الانكسارية بصورة عمودية على المجرى الرئيسى، وبذلك يشبه شكل الشبكة إلى حد ما شكل (الريشة أو مشط تصفيف الشعر).

6. التصريف النهرى المستطيل، ويرتبط بالمناطق ذات الأنظمة التركيبية المتعامدة، أى التى تمتد خطوطها الانكسارية أو الفواصل الصخرية بزوايا قائمة، ولذلك تتبع مجارى شبكة التصريف هذه الخطوط.

التساقط:

التساقط: هو مصدر جميع المياه العذبة على سطح الأرض سواء كان التسلاقط على شكل امطار أو برد أو ثلج، ويمكن القول ايضا بان كل أنواع الجريان السطحي ناجمة بشكل مباشر أو غير مباشر عن التساقط ومن الجدير بالذكر أن كمية الرطوبة الموجودة في الطبيعة تساوي فقط 0.001٪ من مجمل المياه الداخلة في دورة الغلاف المائي، ان هذه الكمية المتواضعة نسبيا يعود إليها جميع انواع التساقط ويقدر العلماء أن هذه الكمية لو اتيح لها أن تسقط في نفس الوقت فإن معدلها يصل إلى 25 ملم على جميع أنحاء الارض.

- يعرف التساقط بأنه:

كل صور الرطوبة التي تسقط على سطح الأرض سواء كانت في حالتها السائلة أم الصلبة (أمطار أو ثلوج). فهو يحدث نتيجة التمدد وتبريد الهواء الصاعد حتى تبداء عملية تكوين السحب فوق المشبعة ببخار الماء فيتكاثف بخار الماء إلى ملايين القطرات المائية الصغيرة والنويات الثلجية حيث يتم التلاحم بينهما لتكون قطرات وبلورات ثلجية اكبر حجما وهذه تزداد نموا وثقلا حتى يصبح الضغط الناشئ عن الهواء الصاعد غير قادر على حملها.

- العلاقة بين الإنسان والتساقط:

لقد تدخل الإنسان حديثا وبدرجة كبيرة في التساقط على الأرض، وبذلك أصبح يؤثر على كمية الأمطار من خلال ما يلي:

1. استمطار الغيوم بواسطة بذر الغيوم بايوديد الفضة أي زراعة الغيوم وهذه مكلفة جدا وغير مضمون مكان سقوطها. وتزيد التكلفة عن 10 دولار لكل 4500 قدم مربع ولعمق واحد قدم. والكلفه تصبح كبيرة لعدة أسباب وهي عدم تحديد الكمية والمكان الذي ستسقط فيه الأمطار كما تزرع الغيوم في كثير من المناطق المجاورة لان كمية الرطوبة في الجو تقل.
2. يتدخل الإنسان بطريق مباشر أو غير مباشر وبذلك يساهم الإنسان في زيادة كمية الأمطار، أو تقليلها بحيث تصبح ضارة وتؤدي الى الفيضان من جهة، أو توزيع الأمطار على فترة زمنية أطول من جهة أخرى.

وان خزن الجريانات المائية وبناء السدود يؤثر على التساقط وهذا التأثير يظهر من خلال أن بناء السدود يزيد من الأمطار لان التبخر يزداد حيث تصبح المياه متجمعة بكميات كبيرة في مناطق مكشوفة يزداد منها التبخر وتزداد بالتالي كميات الأمطار. حيث أن التبخر من الأسطح المائية المكشوفة اكثر من التبخر من التربة، ويتبع ذلك زيادة الأمطار كما إن زراعة الغابات تؤدي الى زيادة التبخر وزيادة التكثف عن طريق النتح مما يزيد كمية الأمطار الساقطة. اما إذا أردنا أن نقلل الأمطار فيتم ذلك بواسطة تغطية السدود بمادة عازلة حيث يقل التبخر منها مما يعمل على تقليب الرطوبة الموجودة في الجو يتم ذلك عن طريق تقليل التبخر بتغطية المسطحات المائية بمواد مناسبة وكذلك التربة. كما أن تقصير طول المجاري المائية عن طريق القضاء على تعرجات الاقنية يقلل التبخر لتناقص مساحة المسطح المعرض لأشعة الشمس. بالإضافة الى ذلك يستطيع الإنسان التدخل في التساقط عن طريق عمل بحيرات كبيرة، وتغيير معالم الغطاء النباتي والبناء حيث أن قطع الغطاء النباتي يؤدي الى زيادة الجفاف لان الغطاء النباتي عامل يساعد في إضافة الرطوبة الى الجو، وتقليل مساحة الأماكن المظللة من الأرض وهذا يزيد التبخر عن طريق الشمس، مما يزيد الجفاف وقد تصبح الأرض مالحة. ومن محاولات تقليل الأمطار الكثيرة طريقة تبديد الضباب في المنطقة. حيث انه إذا بددنا الضباب فان الرطوبة الموجودة بالقرب من السطح نمنع انتقالها للطبقات العليا وبالتالي حدوث التكاثف قرب سطح الأرض أو حدوث البرد.

ومـن الأمثلـة علـى أخطـار المياه والأمطـار حـالات أعاصيـر الهاريكـانز الـتي تسبب خسائر مادية كبيرة سنويا في أمريكيا وكندا، حيث تكلف حوادث الهاريكانز ما يزيد (300) مليون دولارا أمريكيا في السنة. وتقلل هذه الدول من خطر هذه الأعاصير بالنبوءات الجوية وتخلي المنطقة من السكان والنشاطات البشرية الأخرى أو تتغير أمام الهاريكان فوق سطح البحر مادة تقلل من تبخر الماء وبالتالي تقلل فعالية الهاريكانز. وكذلك ضرب العواصف بتفجيرات وصواريخ ترفع درجة حرارة السحب وتقلل حالة التكاثف. وفي غالب الأحيان تبدو الأفكار خيالية وبعيدة عن الواقع حيث أنها تصبح من الناحية التطبيقية صعبة مع أنها من الناحية العلمية صحيحة. وحتى يتحول البخار الى ماء يجب أن يرتفع الى الأعلى مثل اصطدامه بالجبال يرفعه للأعلى ويتكاثف ويسقط على شكل أمطار، أما إذا وصلت حالة البخار الى نقطة التجمد يحدث التساقط على شكل ثلج أو برد أو قطرات مياه متجمدة. وتقسم مناطق الأرض المختلفة الى مناطق ماطرة ومناطق في ظل المطر ويشاء تباين في كمية الأمطار والذي قد يكون أفقي حيث انه كلما ابتعدنا عن اتجاه الرياح تتناقص الأمطار، أو عمودي حيث أنه كلما ارتفعنا لأعلى تزداد الأمطار كثافة. وقد يوجد تباين مكاني ناتج عن الموقع والانحدار والارتفاع عند سطح البحر.

انواع التساقط:

يمكن أن نصف أنواع التساقط بناء على أساس شكل التساقط أو بناء على اصل هذا التساقط إلى:

أولا: تصنيف التساقط بناء على أصوله:

حتى يتم التساقط يجب تضافر عاملين هما: توفر كمية مناسبة ترفع الكتل الهوائية التي تحمل تلك الكميات من الرطوبة إلى أعلى بقدر يكفي لتكاثف بخار الماء الموجود ومن ثم حدوث التساقط حيث تحرك الهواء بموازاة سطح الأرض لعدة مئات من الكيلو مترات أو مرورها فوق مسطحات مائية شاسعة كالبحار

والمحيطات، وقد ترتفع الكتل الهوائية بفعل اصطدامها بعوائق طبوغرافية أو بواسطة اصطدامها بكتل ابرد منها. أو يكون صعودها ناجما عن عملية التسخين كما هو الحال بالأمطار الانقلابية. وليس من المفروض أن يحصل التساقط من أحد هذه الأنواع بمعزل عن الأخر، فقد تتضافر عملية التصعيد الناجمة عن التقاء كتل هوائية متباينة الحرارة. وهكذا تقسم الأمطار حسب أصلها إلى الأنواع التالية:

1. الأمطار التضاريسية (الأوروغرافية):

وتنتج هذه الأمطار عن اصطدام السحب وبخار الماء بالجبال، ويتبع ذلك ارتفاع السحب وبخار الماء إلى أعلى وحدوث التكاثف، ومن ثم حدوث التساقط. وكلما ارتفعنا لأعلى تزداد الأمطار كثافة وقد تتحول إلى ثلوج، وترتبط خصائص مثل هذه الأمطار بكمية بخار الماء التي تحملها الرياح بصورة دائمة.

2. الأمطار التصعيدية (الحملية):

وتنتج هذه الأمطار عن عامل رفع الهواء وهو تناقص كثافة الهواء بسبب ارتفاع درجة الحرارة، حيث أنه بعد ارتفاع درجة الحرارة يسخن الهواء وتقل كثافته ويرتفع للأعلى ويحدث تساقط تصاعدي، وتسقط مثل هذه الأمطار على المناطق الحارة مثل الأقاليم الاستوائية.

3. الأمطار الإعصارية:

وهنا توفر الأعاصير لصعود الهواء إلى أعلى، على سبيل المثال عندما يسود في منطقة ضغط جوي منخفض وهذا الهواء المفروض أن يكون ساخن وكثافته قليلة إذا أحاط به هواء بارد يحصل خلط في الهواء ويأتي الهواء البارد أسفل الهواء الدافئ فيرتفع الهواء الساخن إلى أعلى ويحل الهواء البارد محل الدافئ، وفي النهاية يقلل منه إلى درجة كبيرة جدا ويرتفع الهواء الدافئ إلى أعلى ويسود المنطقة هواء

بارد، وعند ارتفاع الدافئ إلى أعلى، يؤدي إلى خفض درجة الحرارة، مما يتبعه تكاثف يؤدي إلى سقوط المطر.

أما من حيث توزيع الأمطار على الكرة الأرضية فيمكن إجماله على صورة أن المناطق القطبية لا يسقط فيها أمطار، حيث أنه لانخفاض درجة الحرارة في المناطق القطبية يحدث ظاهرة التسامي، وهي التساقط على شكل ثلج باستمرار وعدم حدوث المطر وويتم التبخر هناك بواسطة الرياح حيث تأخذ معها بخار ماء وكما أن جفاف الهواء يؤدي إلى التبخر (حسب الحرارة النوعية)، أي جسم رطب يجف في مناطق وجود الهواء الجاف. أي يحدث تجمد لبلورات ثلجية لم تصل إلى درجة السيولة في المناطق القطبية فتسقط ثلوج وليس أمطار. وعليه فإن الجفاف في المناطق القطبية اكثر من المناطق الصحراوية وقد تكون الرطوبة في المناطق الصحراوية هائلة واكثر من القطبية وقد تؤدي إلى سقوط الأمطار، الا أن المناطق الصحراوية الحارة قليلة الأمطار عادةً، كما أن المناطق الصحراوية الباردة قليلة الأمطار أيضا.

ثانياً: تصنيف التساقط بناء على أشكاله أو صوره:

صور الرطوبة التي تتكاثف وتسقط إلى الأرض في الحالتين التاليتين:

- **أولا: الحالة السائلة وتشمل ما يلي:**

1. الرذاذ (Drizzle):

وهو التساقط الخفيف المتجانس والذي يتكون من قطرات ماء يقل حجمها عن 0.5 مم وبكثافة (شدة تساقط) تقل عن 1 مم/ساعة.

2. المطر (Rain) :

وهو التساقط الذي يزداد قطر حبيباته عن 0.5 ملم وينقسم تبعا لشدة تساقطه إلى ثلاثة درجات:

أ) مطر خفيف (Light rain) ويسقط بشدة تبدأ من آثار إلى 2.5 مم/ س.
ب) مطر متوسط (Moderate rain) ويسقط بشدة أكثر من 2.5 مم/س إلى 7.6 مم/ ساعة.
ج) مطر شديد (Heavy rain) ويسقط بشدة تزيد عن 7.6 مم/ساعة.

- **ثانياً: الحالة الصلبة وتشمل ما يلي:**

1. جليد(Glaze) وهو عبارة عن الثلج الذي يتكون بتجمد الرطوبة سواء كانت رذاذاً أو مطراً عندما يقابل سطحا بارداً أو عندما تقترب درجة حرارة الجو من الصفر المئوي.
2. جمد المطر(Sleet) وهو عبارة عن الثلج الذي يتكون تحت درجة الصفر المئوي ويبدو كطبقة جليدية شفافة.
3. الثلج (Snow) ويكون التساقط في صورة بلورات ثلجية هشة مثل ندف القطن.
4. تجمعات الثلج (Snow Pellets) ويكون التساقط في صورة تجمعات لبلورات الثلج ذات أقطار تتراوح بين 0.5 – 5.0 ملم.
5. الثلج البردي (Snow–hail) ويكون التساقط في صورة كريات من الماء المتجمد وهذه الكريات الثلجية عبارة عن تجمعات ثلجية (Snow Pellets) مغطاة بطبقة من الماء المتجمد اللامع (Sleet).
6. البرد(Hail) ويكون التساقط في صورة كرات من الماء المتجمد ذات أقطار أكبر من 5 مم كما يكون البرد مصحوبا بتيارات هوائية صاعدة Air currentsحتى تتمكن كرات الماء المجمدة من استكمال تكونها.

تباين التساقط variations if precipitation:

من الأمور الرئيسية التي يهتم بها علماء الهيدرولوجيا تباين التساقط مكانيا وتباينه زمانيا.

بحيث يندر أن يتساوى موقعين بمقدار الأمطار التي تسقط عليها بنفس الوقت، كما يندر أن يتساوى التساقط بموقع معين بنفس الوقت وبنفس الموعد خلال سنوات مختلفة.

فمن النادر على سبيل المثال أن تتساوى كمية الستاقط على محطة مطار عمان المدني الساعة الواحدة ظهرا في اليوم الثالث من كانون أول عام 1991 مع نفس الكمية أن تسقط بنفس الموعد عام 1992.

فمعدل سقوط الأمطار السنوي الإفتراضي على مختلف بقاع الأرض يصل إلى 700ملم (280 بوصة) تقريبا، ولكن في حقيقة الأمر قد تمضي عدة سنوات دون أن تهطل أمطار تذكر على بعض المناطق الصحراوية،في حين يزيد معدل الستاقط السنوي في بعض المناطق عن 1000 ملمم كما في جبل waialeaie بجزر هاواي التي يصل معدل التساقط السنوي فيها إلى 1200 ملم (480 بوصة).

ويعتمد تباين التساقط مكانيا على معدلات التبخر وعلى نمط مسار الكتل الهوائية.

حيث يتخذ نمط توزع الأمطار على سطح الكرة الأرضية أنماطا شريطية عرضية.

ونظرا لكون البحار والمحيطات هي المصدر الرئيسي للبخار الموجود في الجو،فإن المناطق البعيدة عن الساحل تتصف بقلة التساقط مقارنة بالمناطق المناظرة لها على السواحل، وتلعب الرياح الدائمة دورا معدلا، يحد من أثر البعد عن السواحل في تقليل الأمطار، بحيث يتعدى تأثير البحار والمحيطات في التساقط

المناطق الساحلية لها، ويمكن أن ينسحب هذا القول على الرياح العكسية التي تهب على اقليم السواحل الغربية في أوروبا،بحيث يتعدى تأثيرها المناطق الساحلية بقارة أوروبا.

ويغلب على التساقط في مختلف رقاع المعمورة النمط الفصلي،بحيث ينتظم التساقط وفق انماط فصلية يمكن التكهن بوقت حدوثه وبمكيته وفق بيانات تدل على كميات التساقط في سنوات سالفة،ويهتم الهيدرولوجي بهذا الأمر اهتماما كبيرا وذلك لرسم السياسات المائية التي تمليها ظروف التساقط.

ويمكن دراسة التباين الزماني للتساقط وفق المفاهيم التالية:

1) التباينات الدورية Cyclic Variations:

جرت العديد من المحاولات للكشف عن امكانية وجود دورات منتظمة للتساقط من خلال دراسة كميات التساقط السنوية. وتعتبر مثل هذه القضايا ضرورية جدا في مجال الدراسات البيئية وبخاصة الفياضانات، ولتحديد مقدار المياه التي يمكن أن تكون متوفرة في سنة ما، ويمكن أن تفيد أيضا في تحديد أماكن إقامة المنشآت والمساكن قرب مجاري الأودية والأنهار الرئيسية، وتتطلب مثل تلك الدراسات معلومات دقيقة ولفترة طويلة يفضل أن لا تقل عن 30 سنة متواصلة.وقد تمت ملاحظة عدة دورات تتباين في مدتها،فمنها ما يصل طولها عشر سنوات ومنها ما يصل إلى 35 سنة.

2) التغيرات الطويلة المدى Secular Variations:

لم يوفق العلماء في تحديد دورة ثابتة للتساقط. ولكن بعض الدراسات الحديثة استطاعت التوصل إلى قناعة بأن تباين التساقط يرجع سببه مباشرة إلى تضافر بعض العوامل الجغرافية مع بعض العوامل المناخية. حيث اتضح أن هناك

دورة عامة شبه منتظمة للدورة العامة للغلاف الجوي تنعكس بالتأكيد على نطاق التساقط العالمي.

3) التباينات الفصلية Seasonal Variations:

يظهر النمط العام لنظام التساقط في معظم مناطق العالم، نمطا شبه ثابت،بحيث تتساقط الأمطار في موسم ما وتحجب عن الستاقط في موسم آخر. وقد درج على تسمية هذه المواسم بالفصول. وتتأثر هذه الفصلية بنظام الغلاف الجوي الذي يتأثر كثيرا بالحركة الكونية للنظام الشمسي وبخاصة علاقة الأرض بالشمس.

4) التباينات اليومية Diurnal Variations:

تحدث بعض التباينات اليومية لتساقط الأمطار في بقاع محددة من سطح الأرض. وتعود هذه الإختلافات إلى إختلاف درجة الحرارة بين ساعات النهار، والتي تعد الاساس في حدوث الأمطار الإنقلابية وبخاصة في المنطقة الإستوائية. حيث تسقط الأمطار الرعدية يوميا بعد الظهر أو مع بدايات المساء.

أنواع المطر:

يمكن تقسيم أنواع المطر من حيث كثافته إلى ثلاثة أنواع:

1) مطر خفيف يتراوح عمقه بين (0 – 2.5 ملم/الساعة).
2) مطر متوسط يتراوح عمقه بين (2.8 – 7.6 ملم/الساعة).
3) مطر ثقيل يكون عمقه (أكبر من 7.6 ملم/ساعة).

طرق قياس المطر:

إن الهدف من قياس كميات التساقط هو للتعبير بدقة عن سمك المياه التي تغلف المنطقة بفعل العاصفة المطرية، ويعد التساقط أول عناصر الطقس التي تولاها المهتمون بالقياس. ويقدر البعض بان أول قياس أمطار كان في القرن الرابع الميلادي في شبة القارة الهندية، ولكن القياس الحقيقي المؤكد للأمطار عرف منذ عام 1639 م في إيطاليا، وفي بريطانيا بدأ القياس عام 1677م.

يوجد عدة طرق وأجهزه مختلفة لقياس كمية المطر وتختلف دقة النتائج من طريقة لأخرى ومن أشهر الأجهزة المستخدمة لقياس المطر هي:

1) **طريقة القياس التقليدية:**

وهو عبارة عن جهاز بسيط، يتكون من اسطوانة بلاستيكية أو معدنية طولها 580 ملم فوهتها 200 ملم، وترتبط الفوهة بقمع يوصل الأمطار إلى اسطوانة داخلية قطرها 20 ملم تكون غالبا مدرجة تدل على عمق الأمطار الساقطة في المنطقة، ويتميز هذا النوع ببساطته، ولكنه لا يعطي فكرة واضحة عن كثافة الأمطار. ويتم التعبير عن كمية المطر المتساقطة في جهة ما بوحدات الطول أي عمق الماء الذي يتساقط على مساحة معينة وعادة يعبر عن ذلك بالملليمتر أو البوصة وتقاس الأمطار بواسطة جهاز يتكون من حوض استقبال وحوض تجميع وحوض واقي لحوض التجميع وتقاس الكميات المتجمعة من الأمطار كل 24 ساعة بواسطة مخبار مدرج وعلى ذلك يكون مقدار عمق المطر المتساقط مساويا لحجم الماء مقسوما على مساحة حوض الاستقبال شكل (2-2) يعرض جهاز التساقط التقليدي.



شكل (2-2) جهاز قياس التساقط التقليدي

ويمكن استخدام المعادلة التالية لإيجاد نتائج التجربة بعد عملها:

$$i = \frac{d}{t}$$

حيث:

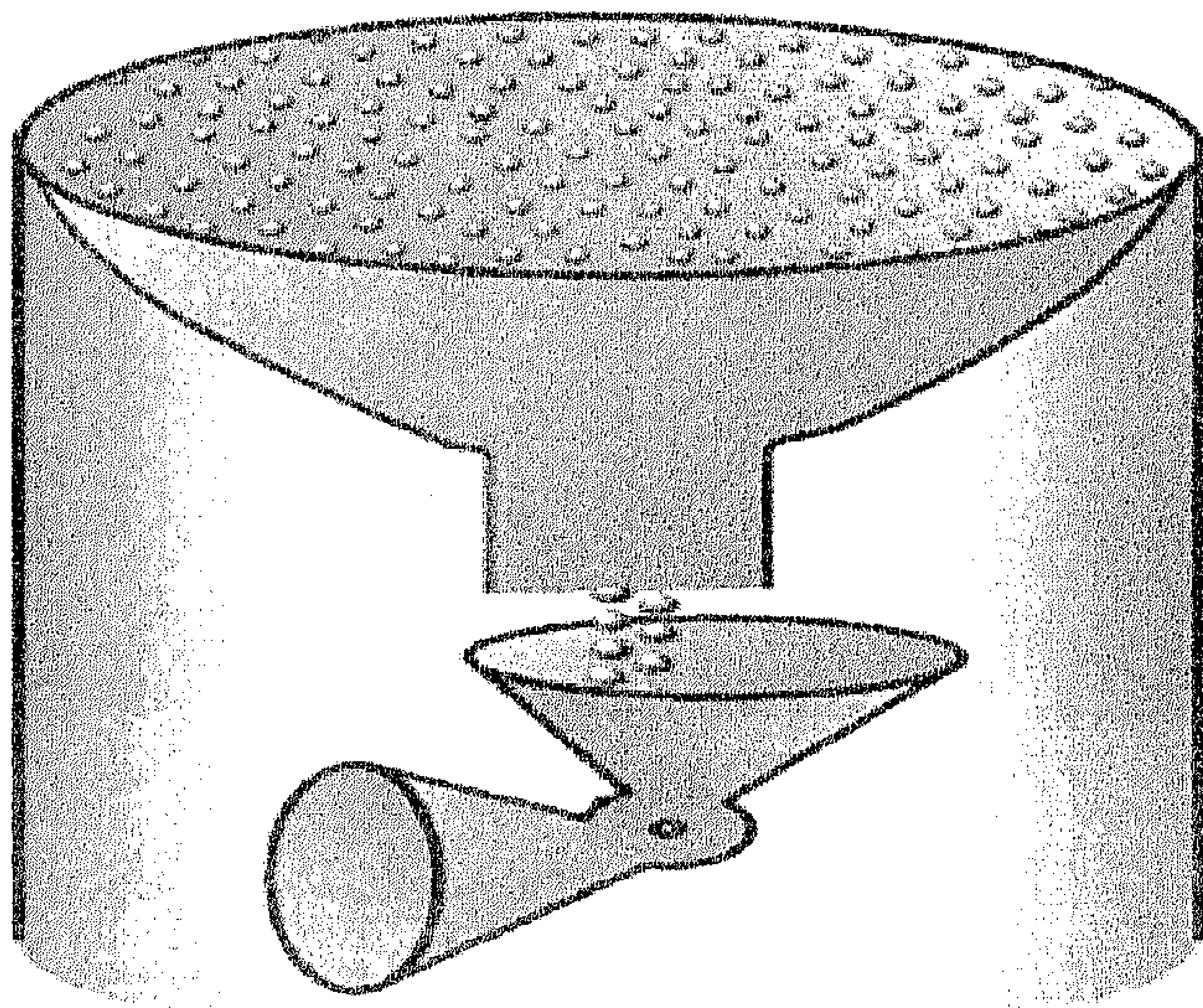
i كثافة (شدة) المطر (مم/ساعة).

d عمق المطر المتجمع في فترة زمنية معينة (مم).

t الفترة الزمنية (مدة العاصفة) (ساعة).

2) **الجهاز القلاب:**

يتكون هذا الجهاز من قمع مستقبل بداخله وعاء قلاب من جزئيين سعة كل جزء يعادل عمق مطر قدره 0.01 بوصة ، حيث يقوم كل جزء من أجزاء الوعاء بالانقلاب عند امتلائه بحيث يصب في خزان التجميع ومن ثم يقوم الجهاز بتسجيل عدد مرات انقلاب الوعاء ومن ثم يمكن معرفة عمق المطر الساقط شكل (2– 3) يعرض جهاز المطر القلاب.



شكل (2– 3) يوضح شكل الجهاز القلاب

خطوط المطر المتساوي Isohyets :

خطوط المطر المتساوي هي الخطوط التي ترسم على الخرائط لتوصيل الأماكن التي تتساوى فيها كميات الأمطار أو معدلاتها في أي فترة من الفترات، وهي تشبه في طريقة رسمها – نوعاً ما– خطوط الحرارة المتساوية وخطوط الضغط المتساوي ولكن مع فارق أساسي وهو أننا عند رسم خطوط المطر لا نحتاج إلى تعديل الأرقام التي تسجلها المقاييس لكي تمثل الحالة عند سطح البحر، بل يجب أن توضع هذه الأرقام على الخريطة بدون تعديل.

والمألوف في رسم خرائط توزيع المطر هو أن تظلل المناطق التي يكون لها معدل واحد تقريباً في فترة معينة "ولتكن شهراً أو سنة" تظليلاً واحداً أو تلون بلون واحد، بحيث لا يكون هناك داعٍ لوضع أي أرقام على الخريطة نفسها لتمييز الخطوط بعضها عن بعض، كما نفعل عادة عند رسم خطوط الضغط وخطوط الحرارة، بل يكتفى بعمل دليل للخريطة تبين بواسطته مدلولات الدرجات المتفاوتة من التظليل أو التلوين. واللون الذي يستخدم عادة في الأطالس وخرائط الحائط للدلالة على الأمطار هو اللون الأزرق.

وكلما كان داكناً دل ذلك على كثرة الأمطار، أما الأقاليم عديمة المطر فتلون غالباً باللون البني الفاتح أو الأصفر الباهت أو تترك بيضاء.

مشكلات قياس المطر:

على الرغم من التطور الذي طرأ على أجهزة قياس المطر وغيرها من أجهزة قياس العناصر المناخية فإن قياس المطر بالذات ما زال معرضاً لبعض الأخطاء الناجمة عن أسباب مختلفة. فقد تحدث بعض الأخطاء نتيجة لعدم دقة القراءات أو عمليات القياس التي يقوم بها الرصد نفسه، كما أن بعضها قد يحدث بسبب أي خلل في أجهزة التسجيل، أو بسبب نوعية الجهاز المستخدم أو بسبب عدم وضعه في المواضع الصحيحة، ويكفي أن نعلم أنه حتى الآن لا يوجد نوع قياسي موحد للجهاز التقليدي لقياس المطر، ولا يوجد اتفاق بين كل مراصد العالم على حجمه أو المواصفات المطلوبة لتركيبه. ولهذا فإن مقارنة البيانات المستمدة من أجهزة القياس المستخدمة في البلاد المختلفة لا تكون في كثير من الأحيان دقيقة بالدرجة المطلوبة. ولمعالجة هذه المشكلة فقد ابتكرت منظمة الأرصاد الجوي الدولية International Meteorological Organisation جهازاً قياسياً لتصحح على أساسه قراءات الأجهزة المستخدمة في الدول المختلفة، وقد تبين أن الفروق بين الأجهزة المختلفة وبين قراءات المقياس الدولي تتراوح بين 5٪ و15٪.

ففي بريطانيا مثلاً يستخدم لقياس المطر جهاز قطر فتحته خمس بوصات وترتفع حافته Rim عند استخدامه بمقدار قدم واحد عن سطح الأرض. بينما يبلغ قطر فتحة الجهاز المستخدم في الولايات المتحدة ثماني بوصات.

وليس هناك ارتفاع واحد لتثبيت جهاز قياس المطر عن سطح الأرض، وما زال تحديد الارتفاع الأمثل مختلفاً عليه حتى الآن، فعلى الرغم من أن كمية المطر المطلوب حسابها فعلاً هي الكمية التي تصل إلى سطح الأرض نفسه فإن القياس على هذا المستوى لن يكون دقيقاً من الناحية العلمية؛ لأن المياه التي تتجمع على الجهاز لن تكون في هذه الحالة مقصورة على مياه المطر التي تسقط فوقه. مباشرة بل ستضاف إليها كميات لا يستهان بها من المياه التي تتبعثر نحوه من الأرض المجاورة عند سقوط المطر عليها. ومن ناحية أخرى فإن وضع الجهاز في مستوى أعلى من سطح الأرض يؤدي إلى اعتراض الرياح وحدوث دوامات بها مما يؤدي إلى زيادة سرعتها ودفعها لنقط المطر الساقطة بعيداً عن الجهاز، وخصوصاً في أثناء هبوب الرياح القوية التي تكون في كثير من الأحيان مصاحبة لسقوط المطر، وهكذا فإن المستويات التي توضع عليها الأجهزة في الدول المختلفة تتفاوت من 30 سم إلى مترين أو أكثر فوق سطح الأرض.

وتظهر هذه المشكلة بصورة أوضح عند وضع هذه الأجهزة على المرتفعات بسبب ارتفاع سرعة الرياح وكثرة الاضطرابات الجوية. ولتقليل الخطإ في نتائج القياس في مثل هذه الظروف يبنى حول جهاز القياس حائط بمقاييس محسوبة، وعلى بعد محسوب كذلك لكي يقلل من سرعة الرياح ولا يعرقل في نفس الوقت سقوط المطر في الجهاز.

مشكلات قياس التساقط الصلب:

إن الأجهزة المستخدمة لتسجيل المطر السائل أو قياسه لا تصلح تماماً لقياس التساقط الصلب إلا إذا كان هذا التساقط خفيفاً بدرجة تسمح بدخوله في الجهاز، حيث يمكن في هذه الحالة حسابه على أساس كمية الماء التي تنتج منه بعد

انصهاره. ولهذا فقد ابتكرت مسجلات خاصة لتسجيل وزن الثلج المتساقط. وتقوم فكرتها على جمع الثلج في وعاء موضوع على سطح ميزان متصل بذراع في طرفه سن ريشه يتحرك على خريطة مثبتة على أسطوانة تديرها ساعة، ومقسمة إلى أقسام تدل على وزن الثلج المتجمع في وعاء. ولكن نظراً لأن بلورات الثلج المتساقط تكون عادة خفيفة جداً فإن الرياح تذروها وتوزعها على سطح الأرض بشكل غير منتظم مما يؤدي إلى تباين سمك الطبقة المتراكمة من موضع إلى آخر، ولهذا فإن ما يسجله "ميزان الثلج sonw gauge" لا يدل إلا على كمية الثلج التي تسقط فوقه فقط، ولا يدل على سمك الثلج المتراكم على كل المنطقة التي يوجد فيها، ولذلك فقد اقترحت طريقة أخرى لقياس كمية الثلج الذي سقط على المنطقة عن طريق عمل مجسات في عدة مواضع لقياس سمك الثلج المتراكم في كل منها وحساب المتوسط بالنسبة لكل المنطقة وتحول هذا المتوسط إلى ما يعرف "بالمعادل المائي Water equivalent" وذلك على أساس أن سمكاً مائياً واحداً يقابل 12 سمكاً من الثلج، ولكن هذه النسبة لا تتوقف على سمك الثلج وحده بل تتوقف كذلك على درجة تكدسه، فكلما ازداد تكدسه زاد المعادل المائي الذي يقابله، ومن الممكن كذلك حساب هذا المعدل بأخذ عينة من السمك الكلي لطبقة الثلج ووزنها وتصنيفها بواسطة أجهزة بسيطة لفرز الثلج ثم حساب متوسط المعادل المائي لها، وتستخدم هذه الطريقة أحياناً كوسيلة مساعدة للقياس بواسطة "ميزان الثلج" وهي مفيدة بصفة خاصة لقياس غطاءات الثلج السميكة، ولهذا فإنها تستخدم على نطاق واسع في المناطق التي تكثر فيها تساقط الثلج.

استكمال النقص في إحصاءات المطر:

من المتفق عليه دولياً في الوقت الحاضر أن فترة 30 سنة متتالية هي أصلح فترة لحساب المعدلات المناخية؛ إذ إن طول هذه الفترة يكفي لتغطية كل التغيرات التي تطرأ على أي عنصر من عناصر المناخ من شهر إلى آخر ومن سنة إلى أخرى. ومع ذلك فإن الأمر قد يختلف من منطقة إلى أخرى على حسب نوع المناخ، ففي المنطقة الاستوائية مثلاً تسير الأحوال المناخية بانتظام تقريباً، وقلما تحدث فروق

كبيرة في المتوسطات اليومية أو الشهرية أو السنوية. وفي مثل هذه المناطق يمكن استخراج المعدلات الصحيحة من متوسطات بضع سنوات فقط. وذلك بخلاف الحال في المناطق التي تتعرض لتغيرات جوية أو مناخية كبيرة من شهر إلى آخر ومن سنة إلى أخرى، وأهمها المناطق المعتدلة التي تتعرض لمرور المنخفضات الجوية في أوقات غير ثابتة فتؤدي إلى حدوث تقلبات جوية عنيفة يظهر تأثيرها في كل عناصر المناخ. وكذلك المناطق الجافة وشبه الجافة التي تتغير فيها كميات الأمطار السنوية تغيراً كبيراً من شهر إلى آخر ومن سنة إلى أخرى، ففي مثل هذه المناطق يكون من الأفضل حساب المعدلات من أرقام مدة أطول ولتكن 35 سنة مثلاً.

وعلى أية حال فإن معظم المحطات المناخية في معظم الدول النامية لم تبدأ عملها إلا منذ سنوات قليلة، ولهذا فلا تتوافر لها التسجيلات المناخية للمدة المتفق عليها دولياً. وفي مثل هذه الأحوال يمكن حساب المعدلات من التسجيلات المتوفرة لأي عدد من السنين مع ضرورة ذكر السنوات التي استخدمت بياناتها لحساب المعدلات.

وكثيراً ما يواجه الباحث بمشكلة عدم توفر بيانات بعض العناصر المناخية لشهر أو سنة أو أكثر في محطة من المحطات، وفي مثل هذه الحالة فإنه يستطيع أن يقدر البيانات المفقودة بالاسترشاد ببيانات محطتين أو ثلاث محطات قريبة منها. وكلما كانت ظروف المحطة المراد تكملة بياناتها المفقودة متشابهة لظروف المحطات القريبة منها وكانت متوسطاتها قريبة من متوسطاتها بحيث لا تزيد الفروق بينها على 10٪ كان التقريب مقبولاً، أما إذا زادت الفروق على هذا الحد فيحسن اللجوء إلى بعض الحسابات الأكثر دقة. ومثال ذلك العملية التي تجريها محطة الأرصاد الجوية الأمريكية لملء ثغرات بيانات الأمطار وتتخلص في حساب البيانات الناقصة من متوسطات ثلاث محطات قريبة منها ومتشابهة لها في ظروفها وذلك بمقتضى المعادلة الآتية:

ولك على أساس أن س هي المحطة المطلوب حساب مطرها في فترة ما، وأن م هي مطر هذه الفترة وهي مجهولة بالنسبة للمحطة س ومعروفة في المحطات الثلاث الأخرى وهي أ، ب، ج، وأن م هي المتوسط السنوي للمطر في المحطات الأربع.

مثال: إذا كانت سنة 1960 مفقودة في المحطة س وكانت أمطار نفس السنة في المحطات أ، ب، ج هي 45، 55، 44سم.

وكان المعدل السنوي العام في المحطة س هو 50 وكان في المحطات أ، ب، ج هو 45، 50، 55سم فإن حساب السنة المفقودة في س "م" يكون كما يلي:

نظم المطر Rainfall regimes:

المقصود بنظام المطر هو كمية توزيعه على أشهر وفصول السنة. وهو يتضمن بالضرورة معرفة معدلاته السنوية والشهرية والعوامل التي لها دخل في سقوطه وغزارته وأنواعه وأشكاله ومدى انتظامه أو تذبذبه.

وقبل أن نستعرض أهم نظم المطر في العالم يحسن أن نلقي نظرة عامة على التوزيع الفصلي العام للأمطار على سطح اليابس و يتضح أن الأقاليم المطرة تنقسم إلى ثلاثة أنواع رئيسية هي:

1) اقاليم ممطرة طول العام:

وتوجد عموماً على امتداد خط الاستواء، وفي المناطق المطلة على المحيطات في شرق القارات وخصوصاً في الجزر والمناطق الساحلية في العروض المدارية وغرب أوروبا وعلى السواحل الشمالية الغربية لأمريكا الشمالية والجنوبية الغربية لأمريكا الجنوبية، وفي جزر نيوزيلندة للأمطار على سطح الكرة الأرضية.

2) اقاليم ممطرة صيفاً:

وتوجد عموماً إلى الشمال وإلى الجنوب من الأقاليم المطرة طول العام حول خط الاستواء، والأقاليم التي تهب عليها الرياح الموسمية المطرة صيفاً والموسمية الجافة وأهمها الهند ومعظم شرق آسيا والحبشة وشمال أستراليا والأقاليم الداخلية المعتدلة في شرق أوروبا وغرب آسيا ووسط أمريكا الشمالية.

3) اقاليم ممطرة شتاء:

وهي موجودة في غرب القارات بين خطي عرض 30ْ، 40ْ في نصفي الكرة، وأكبرها هو إقليم حوض البحر المتوسط في العالم القديم، وإلى جانبه توجد أشرطة ساحلية في غرب أمريكا الشمالية "كاليفورنيا" وفي غرب أمريكا الجنوبية "شيلي" وفي الطرف الجنوبي الغربي لإفريقيا والطرف الجنوبي الغربي لأستراليا "وسنعود لذكر هذه المناطق عند الكلام على نظام البحر المتوسط وهو النظام المعروف لهذه الأقاليم".

ولكن على الرغم من تمييزنا لهذه الأنواع الثلاثة من الأقاليم المطرة فيجب ألا نتصور أن هناك حدوداً واضحة بين بعضها وبعض أو بين بعضها والمناطق الصحراوية المجاروة لها؛ لأن أقاليم المطر، بل الأقاليم المناخية عموماً، تتداخل في بعضها بشكل تدريجي في أغلب الأحيان، بحيث تظهر بين بعضها وبعض أقاليم انتقالية يصعب ضمها إلى أي منها، ففيما بين الأقاليم المطرة طول العام والأقاليم التي يسقط مطرها شتاء أو المطرة صيفاً توجد أقاليم يسقط مطرها في فصلين أو أكثر. وفيما بين الأقاليم المطرة والأقاليم الصحراوية توجد أقاليم متوسطة قد يكون بعضها أقرب إلى الأولى وبعضها الآخر أقرب إلى الثانية، بل كثيراً ما نجد بين الأقاليم التي تنتمي إلى نظام واحد اختلافات جوهرية في كمية المطر أو توزيعه على الأشهر أو نوعيته وعوامل سقوطه. وذلك بسبب اختلاف الظروف المحلية التي لها دخل في سقوط المطر أو في توزيعه الزماني أو المكاني وأهمها الموقع والتضاريس.

وفيما يلي عرض موجز لأهم نظم المطر في العالم وهي:

1) النظام الاستوائي:

ويظهر في الأقاليم الواقعة حول خط الاستواء ويمتاز بأن أمطاره تسقط بغزارة طول السنة، إلا أن لها قمتين تتفقان مع فصلي الربيع والخريف، وهما الفصلان اللذان تكون الشمس فيهما متعامدة على خط الاستواء، ويمكننا أن نلاحظ وجود هاتين القمتين بوضوح إذا راجعنا أرقام بلدة أكاسا في غرب إفريقيا والمنحنى البياني الذي يوضحها، ويتراوح المعدل السنوي للمطر في معظم مناطقه بين 150 و250 سنتيمتراً.

2) النظام شبه الاستوائي أو دون الاستوائي:

ويظهر ما بين خطي عرض 5° و8° تقريباً في نصفي الكرة الشمالي والجنوبي، وأمطاره أقل نوعاً ما من أمطار النظام الاستوائي، كما أنه يتميز عنه بظاهرتين هما:

أ) جفاف فصل الشتاء تقريباً.

ب) اقتراب قمتي المطر بحيث تظهر إحداهما في أوائل فصل الصيف والثانية في أواخره، ويزداد تقارب قمتي المطر كلما بعدنا عن خط الاستواء نتيجة لتناقص طول المدة التي تفصل بين مرتي تعامد الشمس على العروض الواقعة بين المدارين، ويتراوح المعدل السنوي لأمطار هذا النظام بين 100 و150 سنتيمتراً، وتمثله بلدة منجلا في جنوب السودان.

3) النظام المداري القاري أو السوداني:

وأهم ما يتميز به سقوط الأمطار كلها تقريباً في فصل الصيف، وهو يظهر على جانبي النظام دون الاستوائي حتى خط عرض 18° تقريباً في نصفي الكرة الشمالي والجنوبي، وفيه تختفي قمتا المطر اللتان لاحظنا وجودهما في النطاقين

السابقين وتحل محلهما قمة واحدة في منتصف فصل الصيف، ويتمثل هذا النظام بصفة خاصة في بلاد السودان، ويتراوح المعدل السنوي لأمطاره بين 40 و100 سنتيمتر وتمثله بلدة الدويم على النيل الأبيض في السودان.

ويلاحظ أن أمطار النظم الثلاثة السابقة كلها تقريباً من نوع أمطار التيارات الصاعدة، التي تنشأ نتيجة لسخونة الهواء القريب من سطح الأرض وارتفاعه إلى أعلى، ولذلك فإن قمتها تتفق غالباً مع وقت تعامد الشمس.

4) النظام المداري البحري أو نظام موزمبيق:

ويظهر على بعض السواحل الشرقية للقارات إلى الجنوب من النطاق الاستوائي وتسقط أمطاره طول العام ففي فصل الصيف تدخل هذه السواحل في نطاق الضغط المنخفض الاستوائي وتسقط عليها الأمطار بسبب التيارات الصاعدة، أما في فصل الشتاء فإنها تدخل في نطاق الرياح التجارية الجنوبية الشرقية بسبب تزحزح نطاق الضغط المنخفض الاستوائي نحو الشمال. ونظراً لأن هذه الرياح تهب من ناحية بحار دافئة فإنها تؤدي إلى سقوط كميات كبيرة من الأمطار، وهو يتمثل بصفة خاصة على سواحل موزمبيق وسواحل جنوب شرق البرازيل والأرجنتين وجنوب شرق الولايات المتحدة ويتراوح المعدل السنوي لأمطاره بين 100 و200 سنتيمتر.

5) النظام الموسمي:

وهو يشبه النظام السوداني في أن أمطاره تسقط صيفاً، ولكن الأمطار الموسمية تكون غالباً أشد غزارة من أمطار النظام السوداني وسببها غالباً هو الرياح الموسمية الصيفية التي تهب من المحيطات نحو اليابس، خصوصاً نحو الأجزاء الشرقية والجنوبية الشرقية من القارات، ويظهر هذا النظام في مناطق واسعة في جنوب شرق وشرق آسيا، وكذلك في جنوب شرق الولايات المتحدة، وتمثله مدينة

بمباي في الهند، وتتباين معدلات أمطاره تبايناً كبيراً من مكان إلى آخر، ولكنها تتراوح عموماً بين 150 و300 سنتيمتر في السنة.

6) نظام البحر المتوسط:

وفيه تسقط كل الأمطار أو معظمها في فصل الشتاء، وهو يظهر على السواحل الغربية للقارات ما بين خطي عرض 30° و40° تقريباً وتسقط أمطاره بسبب الرياح الغربية والمنخفضات الجوية التي تكثر في نطاقها، وأكبر منطقة يظهر فيها هي حوض البحر المتوسط والبلاد المحيطة به في جنوب أوروبا وشمال إفريقية وغرب آسيا وهذا هو السبب في تسميته بنظام البحر المتوسط، وتمثله بلدة أزمير في تركيا، ويتراوح المعدل السنوي لأمطاره بين 50 و150 سنتيمتراً.

7) نظام السواحل الشرقية المعتدلة:

ويظهر في نفس العروض التي يظهر فيها نظام البحر المتوسط ولكن على السواحل الشرقية للقارات، وتسقط أمطاره طول السنة تقريباً، ففي فصل الصيف تسقط الأمطار بسبب الرياح الموسمية أو الرياح التجارية التي تهب على هذه السواحل من ناحية البحر، أما في فصل الشتاء فتسقط بسبب المنخفضات الجوية التي تأتي من ناحية الغرب عندما تدخل هذه السواحل في نطاق الرياح الغربية، بسبب تزحزح نطاقات الضغط العامة نحو خط الاستواء، ولكن الأمطار الصيفية تكون أغزر بكثير من أمطار الشتاء. ويوجد هذا النظام بصفة خاصة في إقليم ناتال بجنوب شرق إفريقية وفي جنوب ووسط الصين، وتمثله مدينة تشو نكنج "Chung King" وهو الذي يطلق عليه أحياناً اسم النظام الصيني. ويتراوح المعدل السنوي لأمطاره بين 100 و200 سنتيمتر.

8) نظام غرب أوروبا:

ويوجد على السواحل الغربية للقارات إلى الشمال من نظام البحر المتوسط في نصف الكرة الشمالي وإلى الجنوب منه في نصفها الجنوبي، وتسقط أمطاره طول السنة بسبب المنخفضات الجوية والرياح الغربية التي تهب على هذه السواحل من ناحية البحر، وتزداد الأمطار بصفة خاصة في فصلي الشتاء والخريف اللذين تكثر فيهما المنخفضات، وأكبر منطقة يتمثل فيها هذا النظام هي السواحل الغربية لأوروبا، وهذا هو السبب في تسميته باسمها، وتمثله مدينة فالنسيا على الساحل الغربي لأيرلندة، ويتراوح المعدل السنوي لأمطاره بين 100 و250 سنتيمتراً.

9) النظام القاري في العروض المعتدلة:

ويوجد في الأجزاء الداخلية من القارات في نطاق الرياح الغربية، وتسقط معظم أمطاره في فصلي الصيف والربيع لأن اليابس يكون وقتئذ مركزاً لضغط منخفض، ولهذا فإن الرياح الغربية والمنخفضات الجوية تستطيع أن تتوغل كثيراً في اليابس، وتسقط بعض أمطار هذا النظام أيضاً بسبب التيارات الصاعدة التي تنشط في فصلي الصيف والربيع نتيجة لاشتداد حرارة اليابس، وهو يظهر في مساحات واسعة في وسط وشرق أوروبا، وفي السهول الوسطى لأمريكا الشمالية، وتمثله مدينة كييف في أوكرانيا، وتتراوح معدلات أمطاره السنوية بين 50 و120 سنتيمتراً.

10) النظام الصحراوي:

أمطاره قليلة جداً بحيث لا تكفي لقيام حياة نباتية ذات قيمة تذكر، والواقع أن المطر الصحراوي ليس له نظام واضح لا في كميته ولا في توزيعه الزمني أو المكاني، فقد ينقطع سقوطه لبضع سنوات ثم يعود فينهمر فجأة بغزارة متناهية يترتب عليها جرف التربة وقطع الطرق وغرق القرى والواحات، وهو عادة من مطر التصعيد الذي تأتي به عواصف رعد شديدة، ومع ذلك فإن أمطار بعض الصحاري

الواقعة على أطراف الأقاليم الممطرة تكون منتظمة نوعاً ما، ويكون موسم سقوطها هو نفس موسم سقوطها في المناطق الممطرة، ففي الأطراف الشمالية للصحراء الكبرى مثلاً يكون الموسم الرئيسي للمطر هو فصل الشتاء تبعاً لموسم سقوطه في حوض البحر المتوسط، بينما يكون الموسم في الأطراف الجنوبية هو فصل الصيف تبعاً لموسم سقوطه في نطاق السفانا، ولا تزيد أمطار المناخ الصحراوي عموماً على 25 سم وحيثما تكفي الأمطار لنمو حشائش تصلح كمراع فقيرة يمكن أن يوصف المناخ بأنه شبه صحراوي.

توزيع الأمطار على سطح اليابس:

أن الأمطار لا تخضع في توزيعها على سطح الأرض لعامل واحد، بل إنها تتأثر بعوامل كثيرة أهمها:

1) وجود المسطحات المائية، فالمناطق التي تحيط بها بحار واسعة تكون في العادة أكثر مطراً من المناطق البعيدة عن البحار، ويرجع ذلك إلى أن الهواء في المناطق الأولى يكون أكثر رطوبة من الهواء في المناطق الثانية، وذلك على فرض تساويهما في درجة الحرارة ونظام التضاريس.
2) ارتفاع درجة الحرارة فهذا الارتفاع يساعد على نشاط عملية التبخر وازدياد الرطوبة في الهواء، فضلا عن أنه يساعد على نشاط حركة التيارات الصاعدة.
3) مظاهر التضاريس، فالمناطق الجبلية تكون عادة أكثر مطراً من السهول، وتكون المنحدرات المواجهة لهبوب الرياح دائماً أغزر مطراً من المنحدرات الأخرى. وكثيراً ما يؤدي وجود سلاسل جبلية مرتفعة إلى ظهور مناطق صحراوية في السهول المجاورة لها.
4) اتجاه الرياح ونوع الهواء الذي تأتي به، فالرياح التي تهب من ناحية البحر تساعد على سقوط الأمطار، على العكس من الرياح التي تهب من ناحية اليابس، والرياح التي تهب من بحار دافئة أو تمر على تيارات بحرية حارة تكون أكثر مطراً من الرياح التي تهب من بحار باردة أو تمر على تيارات مائية باردة.

5) المنخفضات الجوية والأعاصير: تعتبر من العوامل المهمة التي تساعد على كثرة الأمطار في البلاد التي تتعرض لها.

وهذا هو ملخص العوامل التي تتدخل في توزيع الأمطار، ويلاحظ مع ذلك انه لا توجد حدود واضحة تفصل بين تأثير كل عامل من هذه العوامل وتأثير العوامل الأخرى، خصوصاً وأن كثرة الأمطار أو قلتها في أي إقليم من الأقاليم تكون غالباً راجعة إلى عدة عوامل تعمل جنباً إلى جنب وليس إلى عامل واحد.

النطاقات العامة للمطر:

يقسم سطح اليابس على أساس الأمطار إلى عدة نطاقات كبرى يشمل كل منها عدداً من الأقاليم الموزعة في القارات المختلفة، ويتميز كل نطاق من هذه النطاقات ببعض الصفات العامة المتعلقة بنظام سقوط الأمطار وكميتها، والعوامل التي تسببها وتتحكم في توزيعها، وكثيراً ما يحدث مع أن تختلف الأقاليم التي يضمها النطاق الواحد بعضها عن بعض، على حسب الظروف المحلية الخاصة بكل منها وفيما يلي وصف مختصر للظروف السائدة في نطاقات المطر الرئيسية في العالم وهي:

أولاً: النطاق الاستوائي.

ثانياً: نطاق الرياح التجارية.

ثالثاً: نطاق الرياح الموسمية "المدارية".

رابعاً: نطاق الرياح الغربية ويشمل:

1) غرب القارات المعتدل الدافئ، كما يمثله حوض البحر المتوسط.
2) غرب القارات المعتدل البارد، كما يمثله غرب أوروبا.
3) الأقاليم القارية المعتدلة في داخل اليابس.

4) الأقاليم المعتدلة في شرق القارات.

أولاً: النطاق الاستوائي

يشمل هذا النطاق الأقاليم الواقعة حول خط الاستواء حيث توجد مناطق الركود الاستوائي، ويتميز بغزارة أمطاره التي يبلغ معدلها السنوي حوالي 150 سنتيمتراً أو أكثر، وهي غالباً من نوع أمطار التصعيد، وتتبع في سقوطها نظاماً يومياً مألوفاً، فهي تسقط كل يوم تقريباً بعد الظهر ويكون سقوطها بغزارة شديدة بسبب ارتفاع درجة حرارة الهواء ومقدرته على حمل كميات عظيمة من بخار الماء، وكثيراً ما تصاحبها عواصف رعد شديدة.

وهذا النظام اليومي للأمطار ليس إلا نتيجة للنظام اليومي لدرجة الحرارة فقبل شروق الشمس مباشرة يظهر الضباب الذي يتكون بسبب برودة سطح الأرض نسبياً في أثناء الليل، إلا أن هذا الضباب لا يلبث أن ينقشع بعد شروق الشمس بقليل، وتأخذ درجة الحرارة في الارتفاع بسرعة ويتبع ذلك نشاط مستمر في التيارات الهوائية الصاعدة، وحوالي الظهر يكون هذا النشاط قد بلغ أشده، فتحتجب السماء بكتل عظيمة السمك من سحب المزن الركامي، ويظهر البرق والرعد وتتدفق الأمطار بغزارة شديدة، وتستمر على ذلك حتى قرب غروب الشمس ثم يصفو الجو من جديد ويستمر على ذلك حتى الصباح التالي، وهكذا.

إلا أن النظام قد يتغير في بعض المناطق تبعاً لظروف محلية خاصة، ففي غرب إفريقية ووسطها مثلاً تظهر بعض الأعاصير المدارية التي يطلق عليها هنا اسم الترنادو وهي تنشأ عند التقاء رياح الهارماتان الجافة التي تهب من الصحراء الكبرى بالرياح الجنوبية الغربية الرطبة، التي كانت في الأصل رياحاً تجارية جنوبية شرقية ثم انحرفت نحو الشرق بعد عبورها خط الاستواء، ويمكن أن تظهر هذه الأعاصير في أي ساعة من ساعات اليوم سواء في أثناء الليل أو في أثناء النهار ويؤدي ظهورها إلى تدفق الأمطار بغزارة متناهية، ولكنها لا تدوم غالباً إلا لفترة قصيرة قد لا تزيد على ربع ساعة.

ويتميز كل إقليم من الأقاليم التي تدخل في النطاق الاستوائي بظروف خاصة يختلف بها عن غيره من الأقاليم، وتلعب التضاريس ونظام هبوب الرياح دوراً مهماً في توزيع الأمطار، فيه تكثر بصفة خاصة على منحدرات الجبال وعلى السواحل التي تواجه الرياح مباشرة، ففي إفريقية مثلاً يزيد معدل ما يسقط سنوياً فوق المنحدرات الغربية لجبال الكاميرون على عشرة أمتار، وذلك لأن الرياح الجنوبية الغربية المحملة بالرطوبة تهب عمودية عليها طول السنة تقريباً، أما حوض الكونغو فلا يزيد المعدل السنوي للمطر في معظم أجزائه على 150 سنتيمتراً، وذلك بسبب انخفاضه بالنسبة للأقاليم المرتفعة التي تحيط به من جميع الجهات تقريباً؛ إذ إن هذه الأقاليم تحول دون وصول الرياح الممطرة إليه.

وأمطار هذا الحوض موزعة بانتظام على جميع أشهر السنة ولكنها تزداد نوعاً ما في فصلي تعامد الشمس؛ لأنها كلها تقريباً من أمطار التصعيد التي تزداد بازدياد درجة الحرارة.

ومما يستلفت النظر أيضاً، أننا نجد في نفس هذا النطاق منطقة شبه صحراوية تشغل معظم الصومال في شرق القارة، ففي أغلب أجزاء هذه المنطقة لا يزيد معدل المطر السنوي على 75 سنتيمتراً، ويرجع ذلك إلى عدة عوامل أهمها:

1. أن الرياح التجارية الشمالية الشرقية التي تهب عليها شتاء تكون جافة بصفة عامة لأنها تأتي من آسيا.
2. أن الرياح الجنوبية الغربية التي تهب عليها في فصل الصيف يكون أغلبها موازياً للساحل.
3. انخفاض سطح المنطقة وشدة حرارتها مما يؤدي إلى انخفاض الرطوبة النسبية للهواء الذي يصل إليها.
4. وقوعها في منطقة ظل المطر بالنسبة لهضبة البحيرات التي تقف في طريق أي رياح ممطرة قد تصل إليها من ناحية الغرب. وفي داخل نفس هذا النطاق توجد هضبة البحيرات، وهي على الرغم من كونها أكثر مطراً من الصومال فإن

مطرها يقل بنحو 50 سم عن مطر حوض الكونغو حيث يبلغ معدله حوالي 100 سم. وسبب ذلك هو أن ارتفاعها يؤدي إلى انخفاض درجة حرارتها وضعف تياراتها الصاعدة بالنسبة لهما في حوض الكونغو.

وإذا انتقلنا إلى أمريكا الجنوبية نستطيع أن نميز في المنطقة الاستوائية أربعة أقسام:

1. الساحل الممتد من جنوب مصب الأمزون نحو الشمال حتى مصب الأورينوكو، وهنا تهب الرياح التجارية الشمالية الشرقية عمودية على الساحل طول السنة تقريباً، مما يؤدي إلى غزارة الأمطار، التي يتراوح معدلها السنوي ما بين 200 و250سم.
2. منحدرات جبال الإنديز المشرفة على حوض الأمزون، من ناحية الغرب، ويزيد معدل أمطارها على 250 سنتيمتراً؛ لأن الرياح التجارية التي تهب من الشرق كل أمطارها عندما تصادفها.
3. سهول الأمزون بين القسمين السابقين، ومعدل أمطارها أقل نسبياً منهما ويتراوح معدلها السنوي بين 150 و200 سم.
4. الهضاب المحصورة بين سلاسل الإنديز، وهذه رغم أن ارتفاعها يصل إلى 2800 متر أو أكثر في بعض المواضع فإن أمطارها قليلة نسبياً؛ لأن الجبال التي تحيط بها من جميع الجهات تحول دون وصول الرياح الممطرة إليها، سواء من الشرق أو من الغرب، ويتراوح المعدل السنوي هنا ما بين 100 و125 سنتيمتراً.

وتعتبر جزر إندونيسيا من أهم الأقاليم التي يضمها هذا النطاق، ولكن نظراً لوقوعها بين آسيا في الشمال وأستراليا في الجنوب، فإنها تتأثر بالرياح الموسمية الصيفية والشتوية على حد سواء، وتكون كل منهما سبباً في سقوط أمطار غزيرة لأنها تمر على مساحات واسعة من المياه الدافئة، ويزيد معدل ما يسقط من الأمطار في هذه الجزر بصفة عامة على 250 سنتيمتراً في السنة.

إلا أن الفصل الذي يبلغ فيه قمتها يختلف باختلاف الموقع بالنسبة لاتجاه الرياح الممطرة، ففي جاكارتا "بتافيا" مثلاً وهي على الساحل الشمالي لجزيرة جاوة تبلغ الأمطار قمتها في يناير وفبراير عندما يشتد هبوب الرياح الموسمية الشمالية الغربية، أما على الساحل الجنوبي للجزيرة فتبلغ الأمطار قمتها في يونيو ويوليو، عندما يشتد هبوب الرياح التجارية الشرقية.

ثانياً: نطاق الرياح التجارية

نظراً لأن الأقاليم التي تنتقل إليها الرياح التجارية تكون على وجه الإجمال أشد حرارة من الأقاليم التي تهب منها فإنها تبدو منخفضة الرطوبة نسبياً، على الرغم من أنها تكون أحياناً محملة بكميات عظمية من بخار الماء، ومع ذلك فإنها إذا صادفت أرضاً جبلية مرتفعة فإن هذا البخار يتكثف ويسقط على شكل مطر يكون شديد الغزارة في كثير من الأحيان، ويظهر ذلك حتى في المناطق الصحراوية التي توجد بها سلاسل جبلية أو هضاب مرتفعة تعترض طريق الرياح، فقد تسقط في هذه الحالة كمية من المطر تكفي لتكوين مجار نهرية صغيرة أو كبيرة على حسب الكمية الساقطة، ومثال ذلك المجاري التي توجد حول مرتفعات تيسبتي في الصحراء الكبرى حيث إن الرياح التجارية تسقط على هذه الجبال بعض الأمطار التي كانت سبباً في قيام بعض الواحات حولها.

وعند دارسة الأمطار في نطاق الرياح التجارية "باستثناء الأقاليم التي لها نظام موسمي" يجب أن نميز بين السواحل الشرقية والسواحل الغربية للقارات، ثم بين كل من هذه السواحل والمناطق التي تقع في الداخل بعيداً عن البحر، فالسواحل الشرقية تكون غالباً أكثر مطراً من السواحل الغربية أو المناطق الداخلية، وذلك لأن الرياح التجارية تهب عليها بعد مرورها على مساحات واسعة من المياه الدافئة ولذلك فإنها تكون سبباً في سقوط أمطار غزيرة طول السنة تقريباً، ولكنها تزداد بصفة خاصة في فصل الصيف لأن اليابس يكون في هذا الفصل مركزاً لضغط منخفض تندفع نحوه الرياح التجارية بقوة، وتكون لها صفات الرياح الموسمية، أما

في فصل الشتاء فيحدث العكس حيث تتكون على اليابس مناطق من الضغط المرتفع فلا تستطيع الرياح التجارية أن تتوغل في داخله، وتكون غالباً أقل أمطاراً منها في فصل الصيف، وكلما اتجهنا نحو الغرب أخذت كمية الأمطار في التناقص حتى نصل في النهاية إلى مناطق صحراوية جافة، وهذا هو السبب في أغلب الصحاري المدارية في العالم تقع في غرب القارات من أشهرها الصحراء الكبرى في شمال إفريقية وامتدادها في غرب آسيا وصحراء كلهاري وناميبيا في جنوب غرب إفريقية وصحراء أتكاما في شيلي، وصحاري وسط أستراليا وغيرها.

ففي جنوب إفريقية مثلاً تلاحظ أن الرياح التجارية الجنوبية الشرقية تهب طول السنة على سواحلها الشرقية الممتدة إلى الجنوب من خط الاستواء حتى شمال نلتلل تقريباً، ونظراً لأن هذه الرياح تمر قبل وصولها إلى الساحل على مساحات واسعة من الماء وبالأخص على مياه تيار موزمبيق الحار فإنها تكون محملة بكميات كبيرة من بخار الماء، وتكون سبباً في سقوط أمطار غزيرة على الساحل الشرقي وعلى المنحدرات المواجهة له من الهضبة، أما الساحل الغربي والأراضي المتاخمة له فإنها تكون واقعة في منطق ظل المطر، ولهذا السبب ظهرت صحراء كلهاري وناميبيا في غرب القارة، أما الأمطار التي تسقط إلى الشمال من هذه الصحاري فكلها تقريباً من نوع أمطار التصعيد التي تكثر في النطاق الاستوائي.

ويلاحظ أن الرياح التجارية لا تسقط أمطاراً تذكر على المحيطات إلا إذا صادفت جزراً سطحها جبلي، ومن الطبيعي أن تكون الأمطار على المنحدرات المواجهة لهبوب الرياح أغزر بكثير منها على المنحدرات الأخرى، فجزيرة جاميكا مثلاً تخترقها سلسلة جبلية تمتد من الشرق إلى الغرب، ويصل ارتفاعها إلى أكثر من 2000 متر، ولهذا فبينما يبلغ المعدل السنوي للمطر في بورت انتونيو"port Antonio" الواقعة على الساحل الشمالي المواجه لهبوب الرياح التجارية الشمالية الشرقية 350 سنتيمتراً فإنه يبلغ 100 سنتيمتر في كنجستون "Kingston" على الساحل الجنوبي.

أما الجزر السهلية فتكون عادة أقل مطراً من الجزر ذات السطح الجبلي، ففي جزر بهاما مثلاً لا يزيد معدل المطر السنوي عن 125 سنتيمتراً، وقد ينخفض أحياناً إلى أقل من 75 سنتيمتراً، وهذه حقيقة لها أهميتها لأن الجزر السهلية، على الرغم من أنها من أصلح الجزر للزراعة، إلا أن قلة أمطارها تعتبر أحياناً من المشكلات التي تعترض زراعة كثير من الغلات.

ثالثاً: نطاق الرياح الموسمية "المدارية":

سبق أن ميزنا بين الرياح الموسمية الصيفية والرياح الموسمية الشتوية، وذكرنا أن الأولى دافئة رطبة أما الثانية فباردة جافة، ولذلك فإن الأمطار الموسمية تسقط في جملتها في فصل الصيف، ففي بمباي مثلاً نجد أن معدل ما يسقط من المطر في الأربعة أشهر التي أولها يونيو وآخرها سبتمبر هو 172سنتيمتراً وذلك من المعدل السنوي وقدره 183 سنتيمتراً وقد يختلف نظام الرياح الموسمية وتوزيعها اختلافاً كبيراً من منطقة إلى أخرى على حسب الظروف المحلية الخاصة بالمواقع ونظام التضاريس، ففي جزيرة سيلان مثلاً لا يقتصر سقوط الأمطار على فصل الصيف عند هبوب الرياح الموسمية الجنوبية الغربية؛ إذ إنها تسقط كذلك في فصل الشتاء؛ لأن الرياح الموسمية التي تهب على الجزيرة في هذا الفصل من الشمال الشرقي تمر قبل وصولها إليها على خليج بنغال فتحمل مقادير كبيرة نسبياً من بخار الماء، وتكون سبباً في سقوط بعض الأمطار على الأجزاء الشرقية منها، خصوصاً على منحدرات الجبال التي تواجهها مباشرة، ومثل هذا يقال أيضاً على جزر اليابان، وساحل أنام في الهند الصينية، وجزر الفلبين، وجزيرة فورموزا؛ إذ إن الرياح الموسمية الشتوية الخارجة من القارة لا تصل إلى هذه المناطق إلا بعد مرورها على بحر اليابان أو بحر الصين، ولهذا فإن الأمطار في كل هذه المناطق تسقط طول العام تقريباً، ولكنها تكون غزيرة بصفة خاصة على السواحل والمنحدرات الغربية في فصل الشتاء، وعلى السواحل والمنحدرات الشرقية في فصل الصيف تبعاً لاختلاف اتجاه الرياح، ويلاحظ كذلك أن بعض الأقاليم الموسمية تتعرض في فصل الشتاء

لمرور كثير من المنخفضات الجوية التي يترتب عليها سقوط الأمطار في هذا الفصل، وتعتبر الصين من أحسن الأمثلة لهذا النوع من الأقاليم.

وتتميز الأقاليم الموسمية عموماً بأنها من أكثر أقاليم العالم تعرضاً لحدوث تغيرات واضحة في كمية الأمطار، بل وفي طول الفصل الممطر من سنة إلى أخرى، فقد يحدث أن تؤدي قلة الأمطار في بعض السنين إلى هبوط شديد في المحصولات الزراعية، فيسود الجدب والقحط كما يحدث كثيراً في الهند والصين، وفي سنين أخرى تشتد غزارة الأمطار بدرجة يترتب عليها حدوث فيضانات غاية في الخطورة كما حدوث مثلاً في الصين في سنة 1931، عندما فاض نهر اليانجسنتي وغرق بسببه ما لا يقل عن أربعة ملايين من المساكن ومئات الألوف من السكان، وانتشرت بسببه المجاعات وتفشت الأوبئة، وتشتهر بنجلاديش بالذات بكثرة تعرضها لمثل هذه الفيضانات الخطيرة، وأقربها إلى الذهن هو فيضان أغسطس سنة 1974 الذي قتل بسببه أكثر من ألفي شخص.

ويدخل في هذا النطاق الموسمي كذلك القسم الجنوبي الشرقي من الولايات المتحدة، وتسقط الأمطار هنا طول السنة، فهي تسقط في فصل الصيف نتيجة للرياح الموسمية، وتبلغ قمتها في شهري يوليو وأغسطس أما في فصل الشتاء فإنها تسقط بسبب المنخفضات الجوية، وتعتبر الأعاصير المدارية كذلك، وهي تشتهر في الولايات المتحدة باسم الهاريكين "Hurricane" من العوامل التي تساعد على كثرة الأمطار في أواخر فصل الصيف، وهو الموسم الذي تكثر فيه هذه الأعاصير.

رابعاً: نطاق الرياح الغربية

تختلف الرياح الغربية عن الرياح التجارية في أنها تنتقل إلى مناطق أقل حرارة من المناطق التي تأتي منها، ولذلك فإن الرطوبة النسبية بها تبدو مرتفعة بصفة عامة، ويشتهر نطاق الرياح الغربية بكثرة حدوث المنخفضات الجوية، التي تتكون نتيجة لالتقاء الكتل الهوائية الحارة التي تأتي من ناحية المدارين بالكتل

الهوائية الباردة التي تأتي من ناحية القطبين، وقد ترتب على عظم اتساع اليابس في نصف الكرة الشمالي في هذا النطاق أن ظهرت فوارق كبيرة بين المناطق الواقعة في شرق القارات والمناطق الواقعة في غربها، ثم يبن كل من هذه المناطق والأجزاء الداخلية الواقعة في قلب اليابس، أما المناطق الواقعة في شرق القارات فيدخل معظمها في النطاق الموسمي الذي سبق الكلام عليه، ولن نحاول التعرض لها هنا مرة أخرى.

1. غرب القارات المعتدل الدافئ "البحر المتوسط":

يضم هذا الإقليم جميع الأراضي المحيطة بالبحر المتوسط في العالم القديم، وكذلك بعض الجهات التي تشابهها في القارات الأخرى، ومن أهمها كاليفورنيا ووسط شيلي وجنوب غرب ولاية الكاب بإفريقية، ثم الركن الجنوبي الغربي لأستراليا، وتسقط أمطار هذا الإقليم في فصل الشتاء بسبب الرياح الغربية والمنخفضات الجوية التي تكثر في نطاقها، أما في فصل الصيف فإن هذه الإقليم يدخل في نطاق الرياح التجارية بسبب تزحزح مناطق الضغط والرياح العامة نحو الشمال. ونظراً لأن هذه الرياح تمر على مساحات واسعة من اليابس قبل وصولها إلى السواحل الغربية فإنها تكون غالباً عديمة الأمطار.

ويلعب الموقع ونظام التضاريس دوراً مهماً في توزيع الأمطار على الأجزاء المختلفة من حوض البحر المتوسط، فهي تكثر بصفة خاصة على المنحدرات الغربية للجبال، كما هي الحال على منحدرات جبال الألب الدينارية المطلة على البحر الإدرياتي، حيث يزيد المعدل السنوي للأمطار على 250 سنتيمتراً.

وتزداد أمطار حوض البحر المتوسط كما يزداد طول الفصل المطير بصفة عامة كلما اتجهنا غرباً، وهذا أمر طبيعي لأن الرياح الممطرة والمنخفضات الجوية تأتي عادة من ناحية الغرب، فبينما يبلغ المعدل السنوي للأمطار في جبل طارق حوالي 90 سنتمتراً نجد أنه حوالي 40 سنتيمتراً فقط في أثينا؛ وتقل الأمطار كذلك كلما اتجهنا نحو خط الاستواء لأننا نقترب في هذه الحالة من الصحاري

المدارية الحارة، فبينما يبلغ المعدل السنوي في روما حوالي 83 سنتيمتراً، نجد أنه في الإسكندرية 20 سنتيمتراً فقط.

2. غرب القارات المعتدل البارد "غرب أوروبا":

تتميز هذه المناطق عموماً بغزارة أمطارها التي تسقط طول السنة، وأكثر المناطق مطراً هي السواحل التي تمتد على طولها سلاسل جبلية مرتفعة، كما هي الحال في شمال غرب أوروبا وفي جهات أخرى كثيرة، مثل الساحل الغربي للولايات المتحدة إلى الشمال من كاليفورنيا، وفي جنوب شيلي، والجزيرة الجنوبية من جزر نيوزيلندة، وقد يزيد معدل المطر السنوي في هذه الجهات على 250 سنتيمتراً. ويتوقف البعد الذي تصل إليه الأمطار داخل اليابس على نظام التضاريس، ففي أوروبا مثلاً لا يوجد نطاق جبلي متصل على طول الساحل فيما بين شمال إسبانيا وجنوب النرويج، وذلك فإن الرياح والأعاصير تستطيع التوغل في القارة إلى مسافات بعيدة نحو الشرق، ويختلف الحال عن ذلك في الأمريكتين، حيث تمتد سلاسل جبال روكي وجبال الإنديز المرتفعة على طول السواحل الغربية للقارتين، ولهذا فإن الأمطار التي تحملها الرياح أو المنخفضات الجوية من ناحية الغرب لا تستطيع أن تتوغل في اليابس إلا إلى مسافات قصيرة جداً، فخط المطر السنوي50 سنتيمتراً مثلاً يقع على بعد 300 كيلو متر فقط من الساحل، في حين أنه يمتد في أوروبا حتى يصل إلى موسكو وكييف وبوخارست في الداخل، أي إلى مسافة تزيد على 1600 كيلو متر من المحيط الأطلسي.

ويسقط على هذه السواحل نوعان من الأمطار، الأول هو أمطار التضاريس التي تسقط طول العام على منحدرات الجبال بسبب الرياح الغربية التي تكون محملة ببخار الماء بسبب مرورها فوق مياه التيارات البحرية الدافئة، التي من أشهرها تيار الخليج من المحيط الأطلسي الشمالي وتيار كوروسيفو في المحيط الهادي الشمالي، والثاني هو الأمطار الإعصارية، التي تسقط بسبب المنخفضات

الجوية التي تكثر بصفة خاصة في فصلي الشتاء والخريف، وهذا هو السبب في زيادة الأمطار في هذين الفصلين عنها في الفصلين الآخرين من السنة.

3. الأقاليم القارية المعتدلة داخل اليابس:

كلما ابتعدنا عن السواحل الغربية نحو الشرق يأخذ النظام القاري في الظهور، وفيه تسقط معظم الأمطار أو كلها في نصف السنة الصيفي، ويكون الانتقال من النظام البحري على السواحل الغربية إلى النظام القاري سريعاً أو تدريجياً على حسب التضاريس السائدة، ففي إنجلترا مثلاً رغم صغرها نلاحظ أن النظام القاري يظهر في سهولها الجنوبية الشرقية؛ لأن معظم الأمطار التي تأتي من ناحية الغرب تسقط على مرتفعات ويلز. وكذلك على القارة الأوروبية نفسها تأخذ كمية الأمطار كما يأخذ طول الفصل المطر في التناقص كلما اتجهنا شرقاً، حتى نصل إلى مناطق لا تسقط فيها إلا كميات قليلة من الأمطار في فصل الصيف، كما هي الحال في شرق أوروبا وغرب آسيا إلى الشمال والشرق من البحر الأسود، وأخيراً نصل إلى الأقاليم الصحراوية التي تشغل مساحات واسعة في وسط آسيا.

وتختلف أمطار المناطق القارية عن أمطار السواحل الغربية في أنها تسقط غالباً في نصف السنة الصيفي، أما فصل الشتاء فيكون قليل الأمطار أو جافاً تماماً، والسبب في ذلك هو أن اليابس يكون في فصل الشتاء مركزاً لضغط مرتفع مما يحول دون توغل الرياح الغربية والمنخفضات الجوية كثيراً نحو الشرق، أما في فصل الصيف فيكون الضغط الجوي منخفضاً على اليابس ولهذا فإن الرياح والمنخفضات الجوية تستطيع التوغل لمسافات بعيدة نحو الشرق.

وثمة فرق آخر بين أمطار السواحل الغربية وأمطار المناطق القارية، هو أن الأولى كلها تقريباً من نوع أمطار التضاريس وأمطار الجبهات. أما الثانية فإن نسبة كبيرة منها تكون من نوع أمطار التيارات الصاعدة، وذلك لأن هذه التيارات تنشط في فصل الصيف بسبب اشتداد حرارة سطح الأرض والهواء الملاصق له.

ويظهر النظام القاري للأمطار في معظم سهول أوروبا الوسطى والشرقية والسهول الوسطى لكندا والولايات المتحدة بسبب ضيق اليابس، ومن أمثلة ذلك سهول أستراليا الوسطى وهضبة بتاجونيا في أمريكا الجنوبية وبعض الأجزاء الداخلية من جنوب هضبة إفريقية الجنوبية.

1. الأقاليم المعتدلة في شرق القارات:

تعتبر هذه الأقاليم من أكثر أقاليم العالم مطراً بسبب موقعها المشرف على المحيطات الكبرى ومرور تيارات مائية دافئة بجوار شواطئ معظمها، وهي تقع في نفس العروض التي تقع فيها أقاليم البحر المتوسط وغرب أوروبا. ولكن بينما تسقط أمطار البحر المتوسط وغرب أوروبا بسبب الرياح الغربية والمنخفضات الجوية التي تظهر في نطاقها، فإن الأمطار الصيفية تسقط في الأقاليم الشرقية.

بسبب الرياح الموسمية في شرق آسيا وشرق الولايات المتحدة وبسبب الرياح التجارية في الأرجنتين والطرف الجنوبي الشرقي لإفريقيا والطرف الجنوبي الشرقي لأستراليا، أما الأمطار الشتوية فيسقط أغلبها في هذه الأقاليم بسبب المنخفضات الجوية التي تتقدم نحوها من الغرب.

وإلى جانب ذلك تسقط على بعض السواحل والجزر مثل جزر اليابان بعض الأمطار الشتوية بسبب الرياح الموسمية الشتوية التي تصلها بعد مرورها على مسطحات مائية.

وعلى الرغم من أن هذه الأقاليم تشترك في أن أمطارها تسقط طول السنة، إلا أن لكل منها ظروفه المحلية الخاصة التي تتدخل في كمية المطر وتوزيعه على الأشهر، وتعتبر اليابان من أكثر هذه الأقاليم مطراً في الصيف والشتاء بسبب امتدادها بين الشمال والجنوب وسطحها الجبلي ووجود بحر اليابان في غربها ومرور تيار اليابان بسواحلها، ولهذا فإن معدل المطر السنوي يزيد في معظم أجزائها على 150 سم "ناجاساكي 196سم".

وفصل الصيف هو أكثر الفصول مطراً أما أقلها فهو فصل الشتاء. أما في المناطق الأخرى في شمال الصين وكوريا ومنشوريا، فالأمطار أقل منها في اليابان كما أن الفرق بين أمطار الصيف وأمطار الشتاء أكبر منه في اليابان، وينطبق نفس الشيء تقريباً على شرق الولايات المتحدة.

ويلاحظ عموماً أن الأقاليم المعتدلة الموسمية في شرق آسيا وشرق الولايات المتحدة أكثر أمطاراً من الأقاليم المعتدلة الأخرى في جنوب شرقي أمريكا الجنوبية وإفريقيا وأستراليا، وهي الأقاليم التي يسقط مطرها الصيفي بسبب الرياح التجارية؛ لأن اندفاع هذه الرياح نحو اليابس لا يكون قوياً بسبب ضيق هذا اليابس وعدم اشتداد عمق الضغط المنخفض عليه بالنسبة للضغط المرتفع على المحيطات بخلاف الحال في الأقاليم الموسمية في القارات الشمالية. يبلغ معدل المطر السنوي في بوينس أيريس "الأرجنتين" 103 سم وفي بورت اليزابيث "جنوب إفريقيا" 95 سم وفي سيدني 56 سم.

الثلج ودوره في الدورة العامة للغلاف المائي:

لا يمثل الثلج خارج نطاق الدائرة القطبية، والعروض العليا نسبة مهمة من التساقط، ففي الولايات المتحدة مثلا يشكل التساقط الثلجي 13٪ من مجموع التساقط الكلي. ويركز علماء الهيدرولوجيا على الفترة التي تسقط فيها الثلوج whenأكثر من تركيزهم على مكان تساقط where لأنه في النهاية قد يذوب، كما يركزوا على معدل تسارع الذوبان. وذلك للأهمية الكبرى في مجال تقدير التصريف المائي للأودية الرئيسية والأنهار، وتأثير ذوبان الثلوج على هذا التصريف.

- توزيع الثلوج:

تميل الثلوج للتوزع بنمط يتفق ونظام التضاريس في المناطق التي يكثر تساقطه فيها. لكون المرتفعات توفر الظروف المناخية الملائمة لتساقطه وبقائه لفترة ما دون ذوبان، إذ يلزم هبوط درجة حرارة الهواء المحمل بقطرات الماء إلى ما دون

الصفر، وبقاء الهواء الملامس للثلج بعد سقوطه دون الصفر أيضا. لذلك فأن تساقط الثلج وبقائه يتأثر بفصول السنة وبإرتفاع التضاريس، ويتفاوت منسوب بقاء الثلج دون ذوبان من مكان إلى أخر وفق دوائر العرض، كما أنه يتفاوت من فصل إلى أخر في الموقع الواحد.

- ذوبان الثلوج:

من الأمور الهامة في مجال الهيدرولوجيا هو تحديد معدل ذوبان الثلوج، فعندما تذوب الثلوج ببطء فان كمية المياه المتسربة إلى باطن الأرض تزداد، وكلما زاد معدل ذوبانه يزيد معدل الجريان المائي. ويعتمد ذوبان الثلج على الموازنة الإشعاعية فوق المساحات المغطاة بالثلج، أي عندما تزيد الطاقة الممتصة عن الطاقة المفقودة. وتعد أشعة الشمس المصدر الرئيسي للطاقة فضلا عن الطاقة المستمدة من سطح الأرض وتكاثف بخار الماء والأمطار الساقطة إلا أن درجة حرارة الهواء هي العامل الحاسم في تحديد معدلات ذوبان الثلوج.

- التبخر:

تعتمد هيدرولوجيا المياه السطحية بشكل أساسي على العلاقة بين كميات التساقط (Precipitation)، وبصفة خاصة الأمطار على الجزء اليابس من الكرة الأرضية، وذلك الجزء من الماء الذي يزيد عن قدرة امتصاص الأرض فيسري على سطحها متجمعا في الوديان والمجاري المكشوفة مكونا الجداول ومجاري السيول والأنهار ويسمى هذا الجزء من الأمطار بالسريان السطحي (Runoff) ولفهم المشاكل الهندسية المرتبطة بمقدار وطبيعة ما ينساب على سطح الأرض من مياه الأمطار فلا بد من جمع المعلومات الهيدرولوجية وتحليل البيانات الخاصة لمكونات المطر التي ينقسم إليها بعد وصوله إلى سطح اليابسة فهناك جزء يفقد بالتبخر من المسطحات المائية ومن التربة وأخر بالنتح من سطوح النباتات، هذا بالإضافة إلى ما يفقد نتيجة تسرب الماء إلى سطح التربة ليخزن بين حبيبات الطبقات السطحية أو يتسرب إلى الأعماق حتى يصل إلى المخزون الجوفي.

التبخر Evaporation:

التبخر هو عملية تحول الماء من الحالة السائل إلى الحالة الغازية وتُوفر المحيطات والبحار والبحيرات والأنهار حوالي 90٪ من الرطوبة الموجودة في الغلاف الجوي عن طريق التبخر، تعتبر الحرارة (الطاقة) التي توفرها الشمس ضرورية لحدوث التبخر، وتستخدم هذه الطاقة في كسر جزيئات الماء المتماسكة، لذا يتبخر الماء عند درجة الغليان (100درجة مئوية) بسهوله، ولكن ذلك يحدث ببطء شديد للغاية عند درجة التجمد. ويتعذر حدوث التبخر عندما تصل الرطوبة النسبية في الجو إلى معدل 100٪ (درجة التشبع). وكما أن التبخر يزيل الحرارة من البيئة، فإن الماء الذي يتبخر من جسمك هو الذي يجعلك تشعر بالبرودة.

التبخر ورطوبة الهواء:

- **الحالات التي يوجد بها الماء في الجو:**

يوجد الماء في الجو في حالة أو أكثر من ثلاث حالات هي:

1) الحالة الغازية "بخار".
2) والحالة السائلة "ماء".
3) والحالة الصلبة "ثلج".

ولكنه قد يتحول من أية حالة من هذه الحالات الثلاث إلى أية حالة من الحالات الأخرى نتيجة لإحدى العمليات الآتية:

1) التبخر Evaporation:

وهو التحول من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية.

2) التكثيف Condensation:

وهو التحول من الحالة الغازية إلى الحالة السائلة.

3) التسامي Sublimation:

وهو التحول من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية مباشرة دون المرور بالحالة السائلة، كما هي الحال مثلاً عند حدوث التبخر من سطح الجليد في الأقاليم القطبية.

4) الترسيب Deposition:

وهو التحول من الحالة الغازية إلى الحالة الصلبة مباشرة، دون المرور بالحالة السائلة، كما يحدث أحياناً عند تكون الصقيع نتيجة لهبوط مفاجئ في درجة الحرارة إلى مادون درجة التجمد "Freezing Point" صفر مئوي أو 32 ف" أو عند تجمد البخار أحياناً.

5) التجمد "أو التبلور Crystallisation "أو:Freezing

وهو يحدث عندما تنخفض درجة الحرارة إلى ما دون الصفر، ولكن يجب ألا يفهم من هذا أن التجمد لا بد أن يحدث بمجرد حدوث الانخفاض؛ إذ إن الماء قد يبقى سائلاً حتى بعد برودته إلى درجات منخفضة جداً قد تصل إلى– 10 مئوية ويوصف الماء الذي يبقى سائلاً في درجة حرارة أدنى في درجة الصفر المئوي بأنه دون البارد Supercooled أو subcooled ولكن مثل هذا الماء يكون دائماً عرضة للتجمد بسرعة خصوصاً إذا تلامس مع أي ثلج ومعنى هذا أن الدرجة التي يتجمد فيها الماء ليست دائماً ثابتة. ولكنها على أي حال لا يمكن أن تزيد على الصفر المئوي، فهذا الصفر هو في الواقع الحد الأعلى للحرارة التي يبقى فيها الثلج صلباً، ولكنه من ناحية أخرى ليس الحد الأدنى للحرارة التي يبقى فيها الماء سائلاً.

الانصهار Fusion أو Melting وهو التحول من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة. وهو يحدث دائماً بمجرد ارتفاع درجة الحرارة عن الصفر المئوي، ونظراً لأن هذه الدرجة هي الحد بين بداية التجمد وبداية الانصهار فإنها يمكن أن تسمى درجة التجمد أو درجة الانصهار. ولكن بينما قد يبقى الماء سائلاً تحتها في بعض الحالات فإن الثلج لا بد أن يبدأ في الانصهار بمجرد الارتفاع عنها.

تعريف التبخر:

التبخر، كما ذكرنا آنفاً، وهو تحول الماء من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية وانطلاقه، وهو في هذه الحالة إلى الجو، وهو عبارة عن عملية فيزيقية، كما أن التكثيف وهو عكس التبخر، عبارة عن عملية فيزيقية أخرى يتم بمقتضاها تحول البخار من الحالة الغازية إلى الحالة السائلة. ويحدث هاتان العمليتان نتيجة لظاهرة طبيعية معروفة، وهي أن أي جسم مائي مهما كان حجمه، سواء أكان نقطة مائية دقيقة عالقة بالجو أو بأحد الأجسام، أو غشاءً رقيقاً حول حبة صغيرة من الرمل أو محيطاً عظيم الضخامة، يتكون من جزيئات Molecules دائمة الحركة. وفي أثناء تحركها ينطلق بعضها من الجسم المائي إلى الهواء المجاور، ويعود بعضها الآخر من الهواء إلى الجسم المائي، فإذا كانت الجزيئات المنطلقة من الجسم المائي أكثر من الجزيئات العائدة إليه من الهواء يكون معنى هذا أن هناك تبخراً، أما إذا كانت الجزيئات العائدة من الهواء أكثر من الجزيئات الواصلة إليه فمعنى هذا أن هناك تكثفاً، وتتوقف سرعة التبخر أو التكثف على مقدار الفرق بين العمليتين.

أهمية التبخر:

يعتبر التبخر حلقة أساسية في الدورة المائية العامة، ولولاه لما تحولت مياه البحار والمحيطات إلى مياه عذبة يعيش عليها كل ما هو حي على الأرض، بل إن الثلوج التي تكسو مساحات واسعة من العالم ما كان لها أن تتكون لو لم يكن هناك

تبخر من مياه البحار والمحيطات، فلولا التبخر لما تكونت السحب ولما سقطت الأمطار ولما تكون الندى أو الضباب أو أي مظهر آخر من مظاهر التكثف في الطبيعة.

ولكن بجانب هذه الأهمية الكبرى فإن التبخر له من ناحية أخرى بعض السلبيات، ولو في حالات خاصة؛ إذ إنه يتسبب في ضياع كميات كبيرة من مياه الأنهار والبحيرات، ومياه التربة والنباتات لدرجة تؤدي إلى عجز الميزانية المائية لكثير من المناطق، أو إلى رفع نسبة الرطوبة في الهواء في بعض الأيام الحارة بصورة تجعل الجو ثقيلاً مرهقاً حتى إنه قد لا يكون صالحاً للعمل وبذل الجهد في بعض الأحيان.

ويحدث معظم التبخر. الذي له دخل كبير في المناخ، من سطح البحار، والمحيطات التي تعتبر المصدر الرئيسي لكل المياه الموجودة في الجو أو على سطح اليابس أو في طبقات القشرة الأرضية. إلا أن التبخر يحدث كذلك بكميات كبيرة من النباتات والأنهار والبحيرات ومن سطح التربة. بل ومن أي سطح آخر يحتوي على أي مقدار من الماء ولو في صورة جليد.

وبخار الماء هو أحد المواد التي توجد دائماً عالقة بالهواء حتى في أشد الأماكن جفافاً، إلا أن نسبته تتباين تبايناً كبيراً من مكان إلى آخر. وعلى الرغم من أن نسبة الوزن الكلي لبخار الماء العالق بجو الأرض تقدر عموماً بنحو 5٪ فقط من الوزن الكلي فإن هذه النسبة الصغيرة هي المسئولية عن كل مظاهر التكثف وعن كل المياه التي تسقط على سطح الأرض أو تتجمع في التربة وطبقات القشرة الأرضية، ولولاها لما وجدت الحياة على الأرض ولكان مناخها مختلفاً تمام الاختلاف عن المناخ الموجود فعلاً.

العوامل التي تتحكم في التبخر:

تتدخل في عملية التبخر، سواء من سطح الماء المكشوف أو من سطح التربة، عوامل متعددة بعضها عوامل مناخية مثل الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة

والرطوبة النسبية للهواء والرياح والضغط الجوي، وبعضها الآخر مرتبط بحالة الجسم المائي أو حالة التربة التي يحدث منها التبخر. وليس من الممكن تحديد الدور الذي يقوم به أي عامل من العوامل التي تتحكم في التبخر تحديداً مستقلاً عن الأدوار التي تقوم بها العوامل الأخرى؛ لأن العوامل كلها تعمل مع بعضها بصورة معقدة ومتشابكة، وكل ما يمكن عمله هو تقدير النتيجة النهائية العامة لكل آثارها متجمعة. ومع ذلك فقد أثبتت الدراسات والتجارب أن تأثير بعض العوامل أقوى وأوضح من تأثير بعضها الآخر. وفيما يلي شرح موجز للعلاقة بين التبخر وبين العوامل التي تؤثر فيه، وهي:

أ. العوامل المناخية.
ب. العوامل المتعلقة بحالة الماء.
ج. العوامل المتعلقة بحالة التربة.

أ) العوامل المناخية:

1. الإشعاع الشمسي:

وهو أهم العوامل المؤثرة في التبخر على الإطلاق، فقد أثبتت التجارب التي أجريت حتى الآن أن الدور الذي يقوم به يفوق كثيراً الدور الذي يقوم به أي عامل آخر منفرد. وقد تبين من هذه التجارب وجود علاقة طردية واضحة بين قوة الإشعاع الشمسي والتبخر.

2. درجة الحرارة:

فهي التي تحدد درجة حرارة السطح الذي يحدث منه التبخر، وحرارة هذا السطح هي التي تحدد بدورها سرعة انطلاق الجزيئات منه إلى الجو. وكما هي الحال بالنسبة للإشعاع الشمسي فإن العلاقة بين درجة الحرارة والتبخر علاقة طردية واضحة. ولدرجة الحرارة فضلاً عن ذلك تأثير آخر غير مباشر يحدث عن

طريق تأثيرها على الرطوبة النسبية للهواء، وهذه الرطوبة لها بدورها تأثير قوي على التبخر، كما يتضح من الفقرة التالية.

3. الرطوبة النسبية للهواء:

فالتبخر يحدث طالما أن الهواء لم يصل إلى درجة التشبع، وتتوقف سرعة التبخر على مقدار الفرق بين الرطوبة النسبية الفعلية للهواء وبين رطوبته النسبية عندما يصبح مشبعاً تماماً وهي 100٪. فالهواء الذي رطوبته النسبية 30٪ مثلاً يكون أكثر ملاءمة لنشاط التبخر من الهواء الذي رطوبته النسبية40٪، ويتناقص نشاط التبخر كلما اقتربت الرطوبة النسبية من حدها الأقصى وهو 100٪، وعندئذ يتوقف التبخر تماماً، ومن المعروف أن انخفاض درجة حرارة الهواء يؤدي إلى زيادة رطوبته النسبية بينما يؤدي ارتفاعها إلى نقص هذه الرطوبة، وهذا يفسر لنا أحد الأسباب المهمة لتناقص التبخر نتيجة لانخفاض درجة الحرارة، وتزايده نتيجة لارتفاعها.

4. الرياح:

ويرجع تأثيرها إلى أنها قد تزيح من فوق السطح المائي طبقة الهواء التي تكون رطوبتها النسبية مرتفعة بسبب ما اكتسبته من بخار الماء وتأتي بدلاً منها بهواء أكثر جفافاً من اليابس المجاور مما يؤدي إلى زيادة نشاط التبخر. وكلما زادت سرعة الرياح كان تأثيرها أكبر، وخصوصاً إذا كانت مساحة السطح المائي صغيرة نسبياً. ومن الطبيعي أن سكون الهواء فوق السطح المائي يتبعه تزايد تدريجي في رطوبته النسبية ويتبعه بالتالي تناقص تدريجي في نشاط التبخر.

5. الضغط الجوي:

فمن البديهي أن ارتفاع الضغط الجوي يعطل إلى حد ما سرعة انطلاق الجزيئات من الماء أو التربة إلى الجو، بينما يساعد انخفاضه على زيادة هذه السرعة،

وبالتالي على زيادة نشاط التبخر، وبالإضافة إلى ذلك فإن الضغط الجوي له كذلك آثار غير مباشرة على التبخر، فهو مثلاً يؤدي إلى ضعف الرياح أو قوتها، وهذا يؤثر بدوره على نشاط التبخر. والواقع أن الآثار غير المباشرة للضغط الجوي أهم بكثير من آثاره المباشرة.

ب) العوامل المتعلقة بحالة المياه:

بالإضافة إلى العوامل المناخية التي سبق شرحها فإن حالة المياه التي يحدث منها التبخر من حيث الملوحة والعمق والمساحة لها علاقة مباشرة بعملية التبخر، فزيادة الملوحة تؤدي إلى تناقص سرعة التبخر، ويقدر أن هذا التناقص يحدث بمعدل واحد في المائة لكل واحد في المائة زيادة في درجة الملوحة، أما عمق المياه فيرجع أثره إلى أن تأثير كل من أشعة الشمس ودرجة الحرارة يكون أقوى وأسرع على المياه الضحلة منه على المياه العميقة، ولذلك فإن زيادة الإشعاع وارتفاع درجة الحرارة يظهر أثرهما بسرعة على المياه الضحلة، بينما يتأخر ظهور هذا الأثر نوعاً ما في المياه العميقة. أما مساحة سطح الماء فيرجع دورها إلى أن أثر الرياح يكون أقوى على المساحة الصغيرة منه على المساحة الواسعة. ففي حالة المساحة الصغيرة قد يؤدي — أي تحرك الهواء — إلى إزاحة الهواء الرطب نسبياً وإحلال هواء جاف محله من اليابس المجاور، بينما قد يبقى هواء المساحة المائية الواسعة فوقها مدة أطول مما يؤدي إلى زيادة رطوبته النسبية، وبالتالي إلى تناقص سرعة التبخر.

ج) العوامل المتعلقة بحالة التربة:

تتحكم في التبخر من سطح التربة نفس العوامل المناخية التي تتحكم في التبخر من سطح المياه المكشوفة، ولكن التبخر من سطح التربة يتأثر إلى جانب ذلك بحالة التربة نفسها وظروفها من حيث البلولة والنسيج والتركيب، ووجود طبقة مائية قريبة أو بعيدة عن سطحها، ووجود غطاء نباتي أو جليدي فوقها، ومن أهم الملاحظات الخاصة بهذا الموضوع ما يأتي:

1. إذا كانت التربة مبللة باستمرار وبدرجة كافية فقد يكون التبخر من سطحها معادلاً تقريباً للتبخر من سطح مائي مساوٍ له في المساحة، ولكن التبخر من التربة يأخذ في التناقص كلما تناقصت درجة البلولة حتى يتوقف عندما تصبح التربة جافة تماماً.
2. يكون التبخر أنشط في التربة الناعمة، مثل التربة الطينية أو الصلصالية، منه في التربة الخشنة مثل التربة الرملية؛ لأن دقة مسام الطين والصلصال تساعد على ارتفاع المياه في التربة من أسفل إلى أعلى بتأثير الخاصة الشعرية "Capillary action" ولذلك فكلما تبخر الماء من سطحها، ارتفع إلى هذا السطح ماء جديد من أسفل طالما كانت الطبقة السفلى منه مبللة بعكس التربة الخشنة التي تحتفظ طبقاتها السفلى بمياهها لمدة أطول بسبب ضعف تأثير الخاصة الشعرية.
3. يساعد وجود طبقة مائية تحت التربة على زيادة التبخر، وكلما كانت هذه الطبقة قريبة من السطح كان تأثيرها أكبر.
4. تساعد النباتات على حماية التربة من التبخر المباشر، وكلما كان الغطاء النباتي كثيفاً كان تأثيره أكبر، ومع ذلك فإن عملية النتح من النباتات تؤدي إلى ضياع مقادير كثيرة من مياه التربة، حيث تمتص المياه بواسطة الجذور وتنطلق إلى الجو من مسام النباتات، وإذا كانت التربة مغطاة بطبقة من بقايا النباتات المتراكمة، كما يحدث غالباً من مناطق الغابات، فإن هذه الطبقة تحمي التربة كذلك من التبخر.
5. إذا كانت التربة مكسوة بغطاء من الجليد فإن هذا الغطاء يساعد على حمايتها من التبخر حماية تكاد تامة.
6. يتأثر التبخر بلون التربة، والمعتاد هو أن يكون في التربة السوداء أو الداكنة أسرع منه في التربة الفاتحة؛ لأن اللون الداكن يساعد على امتصاص الحرارة ويساعد بالتالي على نشاط التبخر.

- **قياس التبخر أو حسابه:**

يقاس التبخر بواسطة أجهزة خاصة عليها عموماً اسم مقاييس التبخر "vaporometers"ويوجد منها نوعان رئيسيان هما:

1. نوع يقاس بواسطته التبخر من سطح مائي مكشوف ويستخدم فيه حوض معدني اتساعه حوالي ستة أقدام مربعة وعمقه حوالي قدم ونصف. وعند استخدامه يملأ الحوض بالماء ويعرض للجو، ثم يقاس الانخفاض الذي يطرأ على سطح الماء به من حين إلى آخر. والجهاز القياسي المستخدم في محطات الأرصاد الجوية الأمريكية، والمستخدم كذلك في كثير من محطات العالم العربي هو الجهاز المعروف باسم "Cladss Apn".
2. نوع يقاس بواسطته التبخر من سطح مبلل بالماء. مثل ورقة من الجفاف أو أي مادة أخرى مشابهة له، ومن أبسط الأجهزة التي من هذا النوع وأشهرها الجهاز المعروف بجهاز "بيشي plass" وهو عبارة عن أنبوبة زجاجية مدرجة توضع منكسة بعد أن تملأ بالماء، ويثبت فوق فوهتها قرص من الجفاف، فالذي يحدث في هذه الحالة هو أن الماء يتبخر من سطح ورقة الجفاف التي تمتص بدورها الماء من الأنبوبة فينخفض ارتفاع الماء بها، وتدل سرعة هذا الانخفاض في فترة معينة على نشاط عملية التبخر أو بطئها.

ولكن يلاحظ أن طريقة قياس التبخر بواسطة اي نوع من الأجهزة السابقة تشوبها بعض العيوب التي تقلل كثيراً من قيمتها للدراسات الجغرافية وغيرها، فالنتائج التي أمكن الحصول عليها حتى الآن بواسطة هذه الطريقة لا تمثل في الغالب ما يحدث في الطبيعة فعلاً؛ لأنها لا تراعي بعض العوامل المهمة التي تتحكم في تبخر المياه من سطح الأرض أو من سطح البحار والمحيطات، ومنها سرعة الرياح واتساع المسطحات المائية وعمق المياه فيها، ثم نوع التربة ودرجة رطوبتها وغير ذلك. ومن أهم عيوب هذه الطريقة أيضاً أن الأجهزة التي تستخدم في المحطات المختلفة يتباين بعضها عن بعض، لا في أنواعها فحسب، بل وفي تصميم أجهزة النوع الواحد

وطريقة استخدامها والظروف التي تستخدم فيها. ومن الغريب أنه لا يوجد حتى الآن جهاز واحد متفق عليه دولياً لقياس التبخر كما هي الحال في قياس درجة الحرارة أو الضغط الجوي مثلاً، ولذلك فإن النتائج القليلة التي تنشرها بعض محطات الأرصاد للتبخر يجب ألا ينظر إليها إلا على أنها نتائج تقريبية فقط ويجب أن نكون حريصين عندما نقارن بعضها ببعض أو نستخدمها لرسم خريطة نبين عليها توزيع التبخر في أي منطقة من المناطق. والواقع أن التبخر يعتبر من الظاهرات المناخية التي لا توجد لها خرائط عامة موثوق به في الوقت الحاضر، وذلك باستثناء الخرائط القليلة التي رسمها بعض الجغرافيين أو علماء المناخ لتوزيع التبخر بصورة تقريبية جداً في بعض دول أوروبا وأمريكا.

ولتلافي العيوب الكثيرة التي تشوب قياس التبخر بواسطة الأجهزة التي سبقت الإشارة إليها رأى بعض الباحثين في علوم الطبيعة أنه من الممكن الحصول على تقديرات قريبة من الصحة للتبخر إذا أمكن إيجاد معامل الارتباط بينه وبين العناصر الأخرى التي تتحكم فيه. فبهذه الطريقة يكون من السهل تقدير التبخر إذا عرفنا نتائج قياس أو تقدير هذه العناصر، فإذا استطعنا مثلاً أن نوجد معامل الارتباط بين درجة الحرارة والتبخر، فإننا نستطيع أن نقدر على أساسه سرعة التبخر في أي درجة حرارة معينة، وهذا بالطبع على فرض أن الحرارة هي العنصر الوحيد الذي يتحكم في التبخر، وهذا غير صحيح كما ذكرنا، وقد اقترح بعض الباحثين في دول مختلفة مثل إنجلترا وألمانيا وأمريكا عدة معادلات وطرق رياضية من هذا النوع لحساب التبخر.

ولو أن العناصر والعوامل التي بنيت عليها هذه المعادلات تختلف اختلافاً واضحاً من معادلة إلى أخرى، وفضلاً عن ذلك فإن كل المعادلات تقريباً معقدة بدرجة لا تشجع الباحث الجغرافي على الاستفادة بها في دراساته.

ويمكن القول على أية حال أن طريقة التقدير الرياضي للتبخر تشوبها هي الأخرى عيوب وتعترضها صعوبات لا تقل في خطورتها عن العيوب والصعوبات التي

تشوب وتعترض طريقة قياس التبخر بواسطة الأجهزة ويكفي أن نشير إلى ما سبق أن ذكرناه من أن العناصر التي تتحكم في التبخر ليست معروفة بالضبط، كما أن الدور الذي يلعبه كل عنصر منها ليس محدداً تحديداً دقيقاً، وفضلاً عن ذلك فإن كثيراً من هذه العناصر نفسها، ومن أهمها الرطوبة النسبية أو ضغط بخار الماء في الجو لا توجد لها بيانات دقيقة في الوقت الحاضر، لعدم وجود أجهزة مضمونة لقياسها، ولذلك فإنها هي الأخرى تحسب بطرق رياضية معقدة تكون نتائجها غالباً تقريبية.

وأخيراً يجب أن نوجه النظر إلى أن نتائج قياس التبخر في أي منطقة من المناطق لا يدل في معظم الأحيان على ما يحدث في الطبيعة فعلا؛ لأن هناك فرقاً بين ما يتبخر من سطح المنطقة في ظروفها العادية وما يمكن أن يتبخر منها إذا فرض وكان سطحها مغطى باستمرار بالماء، وهذا في الواقع هو ما تدل عليه نتائج القياس بالأجهزة المختلفة ففي الصحاري الحارة مثلاً تدل نتائج القياس على أن معدل ارتفاع طبقة المياه التي تتبخر سنوياً يزيد على 700 سنتيمتر، ولكن هل هذا هو ما يتبخر فعلاً من سطح هذه الصحاري؟ من الواضح أن الإجابة عن ذلك يجب أن تكون بالنفي لسبب بسيط، وهو أن الصحراء لا يمكن أن يتوفر فيها هذا القدر من الماء لكي يتبخر.

النتح TRANSPIRATION:

يعتبر النتح من أهم العمليات التي تنطلق بواسطتها مقادير عظيمة جداً من بخار الماء في الجو؛ إذ إن المياه تخرج باستمرار من مسام أوراق جميع النباتات تقريباً ثم تتحول إلى بخار. ويطلق على عملية خروج المياه من مسام أوراق النباتات بهذا الشكل اسم "النتح" ويمكننا أن نتصور عظم كمية بخار الماء التي تنطلق في الجو بهذه العملية، إذا عرفنا أن مقدار الماء الذي يخرج بواسطة النتح من عود واحد من الذرة في اليوم الواحد على عشرة أرطال، ويحدث ذلك في الفترة التي يكون فيها النبات قد وصل إلى أوج نموه.

وقياس النتح ليس بأقل إن لم يكن بأكثر صعوبة وتعقيداً من قياس التبخر ولو أن بعض الباحثين في علم النبات استطاعوا أن يحصلوا على نتائج تقريبية بواسطة عمل تجارب في المعمل على نباتات معينة، ولكن هذه النتائج لا يمكن أن تدل على النتح من النباتات المختلفة في بيئاتها الطبيعية التي قد تختلف من نواح كثيرة عن البيئة الصناعية التي يمكن توفيرها في المعمل لإجراء التجربة، وهذا فضلاً عن أن النباتات تتباين فيما بينها تبايناً كبيراً فيما يختص بمقدرتها على النتح لأن هذه العملية تتوقف على عوامل كثيرة، منها شكل الأوراق وحجمها وحجم النبات وكذلك نوع التربة ودرجة رطوبتها، ودرجة حرارة الجو والرطوبة النسبية للهواء وسرعة الرياح. ولكننا إذا ما استثنينا العوامل الخاصة بحجم النبات نفسه وشكل أوارقه نلاحظ أن العوامل التي تتحكم في النتح هي على وجه التقريب نفس العوامل التي رأينا أنها تتحكم في التبخر، ومن أهمها الإشعاع الشمسي، ودرجة الحرارة والرطوبة النسبية والرياح والضغط الجوي. ومن الطبيعي أنه كلما كثرت النباتات التي تغطي سطح الأرض زادت كمية المياه التي تضيع بالنتح من أوراقها.

والتجارب التي تستخدم لتقدير النتح من النباتات كثيرة وأغلبها معقد، ولن نحاول هنا أن ندخل في شرحها، خصوصاً وأن معظم نتائجها ما زالت غير مؤكدة، ولكننا يمكن أن نشير باختصار إلى أن معظم هذه التجارب تدخل تحت أحد نوعين رئيسين هما:

1. تجارب تجرى على النبات وهو حي في مراحل نموه المختلفة لتقدير ما يخرج منه من المياه بالنتح، ويكون ذلك بوضع النبات في غرفة خاصة يمكن أن يقاس ما يطرأ على رطوبة الهواء في داخلها من تغير.
2. تجفيف النبات أو جزء منه، وإيجاد الفرق بين وزنه وهو حي ووزنه بعد أن يجف، ويمكن أن يتخذ هذا الفرق أساساً لتقدير النتح من هذا النبات، وقد أجريت تجارب من هذا النوع على بعض النباتات في كلورادو بأمريكا الشمالية، فظهر أن وزن ما يخرج منها بالنتح طول موسم نموها.

التبخر الكلي Total Evaporation أو EVAPOTRANSPIRATION:

المقصود بالتبخر الكلي هو مجموع ما يضيع من مياه أية منطقة من المناطق نتيجة للتأثير المشترك للتبخر من سطح المياه والتربة والنتح من النباتات ولذلك فإن بعض الباحثين يطلقون عليه ببساطة تعبير التبخر الكلى Total Evaporation أما تعبير Evapotranspiraion فكان قد استخدمه لأول مرة الباحث الأمريكي تورنثويت في سنة 1948 وكونه من كلمتي Transpirtion وEvaporation وكان قد تبين له كما تبين لغيره من الباحثين أن هذين العاملين هما أهم عاملين يتحكمان في تحديد القيمة الفعلية للأمطار، وأنهما متلازمان دائماً في أي منطقة تنمو بها أي حياة نباتية.

ونظراً لأن العوامل الرئيسية التي تتحكم فيهما واحدة تقريباً وأنه لا يوجد أي حد فاصل بين الدور الذي يلعبه أحدهما والدور الذي يلعبه الآخر فقد اقترح ثورنثويت معالجتها كعنصر واحد وتحديد الأثر العام لهما معاً بدلاً من محاولة تحديد كل منهما على حدة، خصوصاً وأن هذا الأثر العام هو الذي يحدد فعلاً المقدار الكلي لما يضيع من المياه، وبالتالي القيمة الفعلية لها.

وقد كانت الفكرة الأولي هي البحث عن طريقة لتقدير أو قياس كمية ما يضيع فعلاً بواسطة التبخر الكلي، ولكن ثورنثويت رأى أنه لا يكفي أن تعرف كمية المياه التي تضيع من المنطقة فعلاً بالتبخر الكلي، بل يجب كذلك معرفة الكمية التي يمكن أن تضيع بنفس الطريقة لو فرض وأصبحت المنطقة وفيرة المياه بدرجة تبقى معها التربة مبللة باستمرار ومكسوة في نفس الوقت بغطاء نباتي متصل. وقد أطلق ثورنثويت على التبخر الكلي في هذه الحالة تعبير potential Eapotranspiration الذي سنسميه "التبخر الأقصى".

وقد أصبحت دراسة التبخر الكلي الفعلي والأقصى من الدراسات الأساسية في معظم مشروعات التنمية التي تعتمد بصفة أساسية على المياه مثل مشروعات استخدام الأرض للزراعة.

وفضلاً عن ذلك فقد أمكن الاستعانة بها في التنبؤ باحتمالات حدوث الفيضانات أو حالات القحط في بعض مناطق العالم وكذلك في دراسة نظام تصريف المياه والميزانية المائية في بعض أحواض الأنهار.

وهناك وسيلتان لمعرفة كمية المياه التي تضيع فعلاً بالتبخر الكلي أو "التبخر الكلي الأقصى" إحداهما هي التقدير الرياضي المبني على دراسة معاملات الارتباط بين التبخر الكلي من جهة والعوامل التي تتحكم فيه وأهمها درجة الحرارة والإشعاع الشمسي من جهة أخرى.

وقد اقترحت لهذا الغرض بعض المعادلات إلا أن دراستها لا تدخل في مجال دراستنا الحالية، أما الوسيلة الثانية لمعرفة التبخر الكلي فهي طريقة القياس بواسطة الأجهزة التي اقترحت لهذا الغرض. وتعرف الأجهزة التي تستخدم لقياس التبخر الكلي الفعلي، باسم ليزيمترات "Lysimeters" أما الأجهزة التي تستخدم لقياس التبخر الكلي الأقصى فتعرف باسم."Evapotranpirometers" .

ويلاحظ أن قياس "التبخر الكلي الأقصى" أيسر إلى حد ما من قياس "التبخر الكلي الفعلي" لأن قياس "التبخر الكلي الفعلي" تتدخل فيه ظروف طبيعية لا يمكن التحكم فيها ومنها ظروف المناخ وظروف التربة والنبات، أما قياس "التبخر الكلي الأقصى" فيمكن إجراؤه في ظروف صناعية يمكن التحكم فيها، ومن الأجهزة المستخدمة لهذا الغرض مثلاً جهاز مكون من ثلاثة أحواض يملأ اثنان منها بتربة مغطاة تماماً بالحشائش وموصلان من أسفل بأنابيب تنتهي في صفائح محفوظة في الحوض الثالث، وفائدة الأنابيب والصفائح هي تجميع المياه التي تتسرب خلال التربة، وطريقة استخدام هذا الجهاز هي أن ترش المياه بسرعة معينة فوق سطح التربة بحيث تبقى دائماً مغطاة بالماء إلى ارتفاع ثابت. فالذي يحدث في هذه الحالة هو أن بعض المياه تنطلق إلى الجو بالتبخر والنتح أما الباقي فيتسرب في التربة ويتجمع في الصفائح وتستخرج كمية المياه التي ضاعت بالتبخر والنتح في مدة معينة بطرح كمية المياه التي تجمعت في الصفائح من الكمية الكلية التي أضيفت

إلى التربة، ويدل الناتج على كمية "التبخر الكلي الأقصى" من هذه التربة، ومن أي مساحة مماثلة من التربة في نفس الظروف.

رطوبة الهواء HUMIDITY OF THE AIR:

- طرق التعبير عنها:

ويمكن التعبير عن رطوبة الهواء بعدة طرق لكل منها مصطلح خاص بها وأهمها:

1) الرطوبة المطلقة Absolute humidity:

وهي وزن بخار الماء الموجود في متر مكعب من الهواء بالجرامات، ويمكن حسابها بتمرير كمية معينة من هذا الهواء في مادة كيميائية يمكنها امتصاص كل ما به من بخار. ويدل الفرق بين وزن هذه المادة قبل تمرير الهواء وبعده على وزن بخار الماء الذي كان عالقاً به.

2) الرطوبة النوعية Specific humidity:

وهي النسبة بين وزن بخار الماء الموجود في حجم معين من الهواء إلى الوزن الكلي لهذا الهواء، فإذا كان وزن هذا الهواء كيلو جراماً واحداً وكان وزن بخار الماء الموجود به 15 جراماً فإن رطوبته النوعية تكون 15 جراماً في كل كيلو جرام "15جم/ كجم".

3) ضغط بخار الماء Vapour pressure:

وهو الضغط الذي يسببه بخار الماء الموجود في الجو، وهو ضغط جزئي لا يدخل فيه ضغط الهواء الجاف أو ضغط أي غاز آخر من الغازات التي تدخل في تركيب الهواء. وهو يقاس بنفس الوحدات التي يقاس بها الضغط الجوي. وهي

المليبار والبوصة الزئبقية أو السنتيمتر الزئبقي. ويبلغ ضغط بخار الماء أقصاه عندما يكون الهواء مشبعاً تماماً به.

4) الرطوبة النسبية Relative humidity:

وهي التي تهمنا بصفة خاصة في دراسة المناخ، والمقصود بها هو النسبة المئوية لوزن بخار الماء الموجود في الهواء إلى وزن ما يستطيع نفس هذا الهواء أن يحمله لكي يصل إلى حالة التشبع وهو في نفس درجة الحرارة.

ويلاحظ أن مقدرة الهواء على حمل بخار الماء تتناسب تناسباً طردياً مع درجة حرارته بمعنى أنه كلما ارتفعت درجة حرارته زادت مقدرته على حمل مقادير جديدة من بخار الماء.

5) درجة الندى Dew point:

وهي الدرجة الحرارية التي يصبح عندها الهواء عاجزاً عن حمل كل ما به من بخار الماء فيبدأ بعضه في التكثف بأية صورة من صور التكثف المعروفة، ومنها السحب والأمطار والضباب والندى والثلج وهذه الدرجة لا تختلف كثيراً عن الدرجة التي يصبح عندها الهواء مشبعاً تماماً بالبخار.

ومن الواضح أن الانخفاض الحراري الذي يلزم لتوصيل الهواء إلى درجة الندى يتوقف إلى حد كبير على رطوبته النسبية، فكلما كانت هذه الرطوبة مرتفعة كان الانخفاض الحراري اللازم لتوصيله إلى درجة الندى بسيطاً. ومن الممكن أن تحسب درجة الندى للهواء بتجربة بسيطة وذلك بأن نضع كمية من الماء في كوب من النحاس الأملس الرقيق، ففي هذه الحالة ستكون درجة حرارة الكوب هي نفس درجة حرارة الماء. فلو أضفنا إلى الماء تدريجياً بعض قطع الثلج مع تقليبها باستمرار سنلاحظ أن جزئيات دقيقة من بخار الماء المتكثف من الجو قد بدأت

تتراكم على الجدار الخارجي للكوب وتكسوه بطبقة تشبه الضباب، فلو قيست درجة حرارة الماء في الكوب عند بدء تكون هذه الطبقة فإنها تكون هي نفس درجة الندى.

قياس الرطوبة النسبية:

تقاس الرطوبة النسبية بواسطة عدة أجهزة أهما:

1) السيكرومتر Psyhroneter.
2) الهيجرومتر ذو الشعر Hair hygrometer.
3) الهيجروجراف. Hygrograph.

- **السيكرومتر:**

يتركب هذا الجهاز من ترمومترين عاديين مركبين على قاعدة خاصة، ولكن أحدهما معرض للجو مباشرة ويطلق عليه اسم "الترمومتر الجاف" أما الآخر فتلف فقاعته بواسطة قطعة قماش رقيقة مبللة باستمرار، ولذلك فإنه يسمى "الترمومتر المبلل" فالذي يحدث في هذه الحالة هو أن الماء يتبخر من قطعة القماش فينتج عن ذلك انخفاض في درجة الحرارة التي يبينها هذا الترمومتر؛ لأن التبخر كما هو معروف، يستنفد بعض الحرارة. ولما كان من الثابت أن التبخر يكون أنشط في الجو الجاف منه في الجو الرطب وأن سرعة التبخر تتناقص كلما زادت الرطوبة النسبية فإن الفرق بين درجتي الحرارة اللتين بينهما الترمومتران يمكن أن يتخذ أساساً لتقدير الرطوبة النسبية، وقد أعدت لهذا الغرض جداول خاصة ومنها تقرأ الرطوبة النسبية بمقابلة قراءتي الترمومترين. ولكن هذا الجهاز له بعض العيوب ومنها أنه لا يصلح لقياس الرطوبة النسبية إذا كانت درجة الحرارة أقل من درجة التجمد؛ لأن الثلج في هذه الحالة يتراكم فوق فقاعتي الترمومترين.

ولقد ابتكر من السيكرومتر نوع كهربائي يمكن أن تنقل قراءته إليكترونياً إلى أي مكان داخل مبنى محطة الرصد، دون الحاجة إلى الخروج إلى الخلاء لقراءته، ولهذا السبب فقد أُعطي اسم "تيلي سيكرومتر Telepsychroneter".

- الهيجرومتر ذو الشعر:

وهو جهاز تقوم فكرته على أساس مقدار ما يطرأ على حزمة من شعر الإنسان من تمدد أو تقلص تبعاً لتغير نسبة الرطوبة في الهواء، فالمعروف أن شعر الإنسان يتقلص في الهواء الجاف ويتمدد كلما زادت الرطوبة، ولذلك فإن الجزء المهم في هذا الجهاز هو حزمة مكونة من عدة خصلات من الشعر، ومثبت في هذه الحزمة سن ريشة يتحرك أمام مسطرة مقسمة إلى مائة قسم من صفر إلى 100، فعندما تتغير نسبة الرطوبة يتحرك سن الريشة تبعاً لتمدد حزمة الشعر أو تقلصها، ويدل الرقم الذي يثبت أمامه على الرطوبة النسبية. ومن عيوب هذا الجهاز أن تأثير تغير الرطوبة على حزمة الشعر لا يحدث في نفس اللحظة التي يحدث فيها هذا التغير في الهواء بل يتخلف عنه قليلاً، وهي مسألة يجب تقديرها.

– الهيجروجراف:

يعتمد هذا الجهاز على نفس الفكرة التي يعتمد عليها الهيجرومتر ذو الشعر. وأهم فرق بينهما هو أن الهيجروجراف يسجل التغيرات التي تطرأ على الرطوبة النسبية تسجيلاً آلياً مستمراً على خريطة مقسمة تقسيماً خاصاً. وتثبت هذه الخريطة على أسطوانة تدور بواسطة ساعة أمام سن ريشة. كما هي الحال في الترموجراف والباروجراف.

أهمية الرطوبة النسبية:

من الواضح أن كمية الرطوبة في الهواء تتوقف قبل كل شيء على وجود مصادر مائية يمكن أن ينطلق منها بخار الماء، وأهم هذه المصادر هي المحيطات

والبحار وغيرها من المسطحات المائية والتربة المبللة والغطاءات النباتية. فكلما زادت مساحة هذه المصادر زادت كمية البخار في الهواء، وزادت تبعاً لذلك مظاهر التكثف، ومن الطبيعي أن ترتفع الرطوبة النسبية كلما اقترب المكان من ساحل البحر وأن تكون مرتفعة بصفة خاصة في الجزر الصغيرة.

وبالإضافة إلى أهمية الرطوبة النسبية كعنصر مناخي فإن لها كذلك آثاراً فسيولوجية على كل الكائنات الحية التي تعيش على الأرض. فكل كائن حي بري يحتاج إلى وجود نسبة ولو ضئيلة من بخار الماء في الجو الذي يعيش فيه وتتباين هذه النسبة تبايناً كبيراً من كائن إلى آخر. ومع ذلك فإن معظم الكائنات يمكنها أن تقاوم نقص الرطوبة في الجو بواسطة بعض الوظائف الفسيولوجية. ومن أهمها إفراز العرق الذي يعمل على ترطيب الجلد في الجو الجاف، وخصوصاً إذا كان هذا الجو حاراً، حيث إن نقص رطوبة الهواء في مثل هذا الجو عن الحد المطلوب يؤدي إلى جفاف الجلد وشعور الإنسان بالضيق. أما في الجو البارد فإن قدرة الجلد على إفراز العرق تكون محدودة جداً بسبب تقلص مسامه، وفي مثل هذا الجو يتعرض جلد الوجه والأيدي والأجزاء الأخرى المكشوفة، إلى التقشف أو التشقق.

ومن الثابت أن قدرة الإنسان على تحمل الارتفاع في درجة الحرارة يرتبط ارتباطاً وثيقاً برطوبة الهواء. ويطلق على درجة الحرارة التي يحس بها الإنسان فعلاً تعبير "درجة الحرارة المحسوسة Sensible temperature" ففي الجو الحار يلجأ الجسم إلى مقاومة الحرارة الشديدة عن طريق إفراز العرق الذي يؤدي تبخره على الجلد إلى خفض درجة الحرارة التي يحس بها الجسم فعلاً عن درجة حرارة الجو. وكلما زاد إفراز العرق زاد الفرق بين الحرارة المحسوسة وحرارة الجو. ولما كانت قدرة الجسم على إفراز العرق تتناقص كلما ارتفعت الرطوبة النسبية فمن الطبيعي أن يؤدي هذا الارتفاع أيضاً إلى ارتفاع الحرارة المحسوسة وإلى زيادة الشعور بالضيق.

معادلة ثورنتوايت:

لقد جاء بها سنة 1948 ونشرها للعالم في المجلة الجغرافية Geogrophical Review بشهر فبراير من تلك السنة بعد أن أدخل عليها بعض التعديلات وقد حاول تطبيقها على غرب أستراليا وتتلخص هذه المعادلة في الآتي:

تم = 1.6 × ع (10 ×) جـ

على أن هذه الحروف يرمز بها إلى:

تم = التبخر الكلي المحتمل للشهر مقدرا بالمليمتر على فرض أن طول الشهر30 يوما وطول اليوم 12 ساعة.

ع = معامل متغير بتغير أطوال النهار ودرجات العرض ويستعمل للتصحيح.

حـ = المتوسط الشهري للحرارة بالدرجات السلسيوسية أي المئوية.

م = معامل الحرارة indice de chaleur وقد أطلق عليه فيما قبل 1947 فعالية الحرارة éfficacité de la Temperature وهو معامل متوسط الحرارة الشهرية.

ويظهر من متابعة وتحليل معادلة ثورنتوايت أن عملية حساب التبخر الكلي المحتمل لا تحتاج إلا لبيانات المتوسطات الشهرية للحرارة، ولدرجة عرض المكان أو المحطة التي يراد تقويم تبخرها الكلي المحتمل. كما يلاحظ أن هذه الطريقة تعتمد على اللوغاريتمات لحساب معامل الحرارة بالخصوص. ولهذا قد وضع ثورنتوايت جداول خاصة، لتسهيل العمليات الحسابية، فيه نجد قيم المعامل المتغير(ع) ومعامل الحرارة الشهري (م).

وقد لقيت هذه الطريقة انتقادات كثيرة من طرف المدرسة الفرنسية بالخصوص لأنها تعتمد على الحرارة وحدها في تقويم عملية التبخر، ولأنها تفرض أن الجسم المعرض للتبخر هو جسم مشبع بالمياه.والواقع أن التبخر الكلي المحتمل لا يرتبط بالحرارة فقط بل أن عملية التبخروشدتها مرتبطة أشد الإرتباط– زيادة عن الحرارة بسرعة الرياح، ورطوبة الجو، واختلاف الضغط وكمية الطاقة الواصلة إلى سطح الأرض، ثم أن النباتات تختلف عن بعضها فيما تنتجه من بخار الماء باختلاف أنواعها وبنيتها المرفولوجية والفيزيولوجية بل وباختلاف مراحل نموها.

وحسب ثورنتوايت يمكن الحصول على الموازنة المائية لكل شهر بطرح كمية التبخر الكلي المحتمل (تم) للشهر من كمية التساقط لنفس الشهور، وقد يكون الناتج موجبا وقد يكون سالبا وإذا جمعت التقويمات الشهرية السالبة وقسمت على التبخر الكلي المحتملالسنوي حصل على ما يعرف بمعامل الجفاف. ونفس الطريقة تسلك بإستبدال التقويمات الشهرية الموجبة فقط لحساب معامل الرطوبة. وإذا ضرب معامل الجفاف في 0.6 ثم خصم من معمل الرطوبة حصل ما يعرف بالموازنة المناخية السنوية.

معادلة بنمان:

وهي أكثر المعادلات شيوعا وضبطا لحساب التبخر الكلي المحتمل، إذ فيها يراعى بنمان العوامل الأساسية المؤثرة في التبخر وهي:

الحرارة، والإشعاع، والرطوبة الجوية وسرعة الرياح. وقد بين أن تبخر الغطاءات النباتية المشبعة بالمياه أقل من تبخر المساحات المائية في نفس الظروف المناخية، وأن قيمة الالبيدو – وهي نسبة الطاقة الإشعاعية المنعكسة على الطاقة الإشعاعية الواصلة – تختلف باختلاف طبيعة السطح لذي يتلقى الطاقة الإشعاعية فهي مرتفعة بالنسبة للغطاءات النباتية إذا ما قورنت بالمياه (0,25 للغطاء النباتي 0,05 بالنسبة للماء) الخ...

وصياغة معادلة بنمان للتبخر كالآتي:

$$\text{تم} = \frac{\text{هـ} D + \text{ت} Y}{D + Y}$$

$$E = \frac{D H. + Y E}{D + Y}$$

على أساس أن هذه الحروف يرمز بها إلى ما يلي:

تم = التبخر الكلي المحتمل مقدرا بالمليمتر في اليوم.

هـ = الإشعاع الخالص Rayonnement net محول إلى كمية التبخر على أساس أن هـ = س/60. هذا في حالة ما إذا كان الإشعاع الخالص (شخ) مقدرا بالكالوري للسنتيمتر المربع الواحد في الدقيقة الواحدة. وقد يقاس الأشعاع الخالص، وقد يحسب بالمعادلة التجريبية لبرانت Brunt وهي:

فيها:

Q = الإشعاع الكلي الواصل الى سطح الأرض r

iga = الإشعاع الشمسي الواصل الى السطح العلوى للغلاف الغازيr

n = السطوع الشمسي أي الفترة التي سطعت فيها الشمس على سطح الأرضr

N = طول النهار

A = البيدو albedo

T = درجة الحرارة المطلقة

ت = قدرة التبخر للهواء أوقدرة التبخر بالمليمتر لمسطح مائي في حرارة الهواء الواقع على ارتفاع مترين فوق سطح الأرض. وهذه القيم قد استخرجها بنمان من خلال تجاربه المتعددة ووضعها في جداول معينة وهي تابعة لشدة الضغط الأقصى لبخار الماء في درجة حرارة الهواء، وشدة الضغط الأقصى لنقطة الندى، وسرعة الرياح على ارتفاع مترين عن سطح الأرض. تحسب بالمعادلة التالية:

$$r(e_d - e_a)(u0.01 + u = 0.35 \ (1$$

u = سرعة الرياح

e_a = ضغط الهواء المشبع

e_d = ضغط بخار الماء في نقطة الندى.

= انحدار الضغط لبخار الماء أو الفرق بين ضغط بخار الماء في الهواء المشبع ببخار الماء وغير المشبع التابع لإختلاف درجة الحرارة مقاسا بالمللميتر الزئبقي.

Y = الثابتة البسيكروميترية وتساوي 0,48 إذا كانت درجة الحرارة مقدرة بالدرجات المئوية والضغط بالمليمتر الزئبقي. وقد تعرف هذه الثابتة البسيكروميترية ايضا بثابتة بوين La constante de Bowen

والمتتبع لمعادلة بنمان يجد أنها تحتاج إلى معرفة الآتي:

1) الإشعاع الكلي.
2) السطوع الشمسي الفعلي النظري.
3) متوسط درجة حرارة الهواء.
4) شدة ضغط بخار الماء في حالة درجة حرارة تشبعه وفي حالة درجة حرارة نقطة نداه.
5) الألبيدو للسطح.

6) سرعة الرياح.

ولا شك أن معرفة كل هذه العناصر الستة التي تعتمد عليه معادلة بنمان لحساب التبخر تتطلب حسابات طويلة وتجارب عديدة وأعمال ميدانية وأخرى مخبارية لهذا قد وضع لها بنمان جداول يمكن قراءتها بسهولة لتقويم التبخر بشرط أن تتوفر المعطيات الآتية وهي:

1) درجة الحرارة مقاسة على إرتفاع مترين عن سطح الأرض.
2) المدة الفعلية لسطوح الشمس أي عدد الساعات التي سطعت فيها الشمس على سطح الأرض.
3) الرطوبة النسبية.
4) سرعة الرياح على إرتفاع مترين من سطح الأرض بالميل.

وهذه البيانات الأربعة يمكن الحصول عليها من المحطات المترولوجية.

ويلاحظ على معادلة بنمان أنها لا تعطى نفس النتائج التي تعطيها معادلة ثورنتوايت وقد بينت التجارب والمقارنة بين قياس التبخر وحسابه التي أجريت في السينغال وفي بلجيكا ان قيم ثورنتوايت أكبر من قيمة بنمان بحوالي 10٪ بصفة عامة.

معادلة ثورك:

وهي أقل تعقيدا من معادلة بنمان، حيث أن معادلة تورك للتبخر الكلي المحتمل تعطى الأهمية للحرارة وللسطوع الشمسي، وقد لقيت هذه المعادلة إقبالا كبيرا فيما بعد سنة 1960 من طرف الباحثين الفرنسيين الذين استعملوها لقياس التبخر الكلي المحتمل في فرنسا ولحاجات النباتات للري. وتتلخص معادلة ثورك في الآتي:

$$\text{تم} = 0.4 \times \frac{\text{حـ}}{\text{حـ} + 15} (\text{شك} + 50)$$

وحروف هذه المعادلة يرمز بها إلى الآتي:

تم = التبخر الكلي المحتمل بالمليمتر في الشهر.

حـ = المتوسط الشهري للحرارة بالدرجات المئوية.

شك = الإشعاع الكلي (أي الإشعاع الشمسي والإشعاع الجوي) للسنتيمتر المربع الواحد في اليوم. وهي قيمة المتوسط اليومي للشهر، وتحسب قيمة الإشعاع الكلي على أساس مدة السطوح الشمسي وذلك حسب المعادلة:

أي أن الإشعاع الكلي يساوي الثابتة الشمسية (شت) التي تستخرج من الجدول مضروبة في المعامل "أ" مضافا إليه المعامل "ب" المضروب في نسبة السطوع الفعلي (ص) على السطوع النظري "ص" على أن المعاملين أ، ب يختلفان حسب المناطق، فهمنا حسب تقديرات انجستروم Angstrom (1922) للجزائر أ = 0,48، ب = 0,058 على أساس معامل ارتباطي قيمته 0,73.

ومعادلة تورك لحساب التبخر الكلي المحتمل تعطى نتائج قريبة من معادلة ثورانت وبالخصوص في المناطق المدارية.

الجريان L'ECOULEMENT:

يقصد بالجريان المياه الجارية على سطح الأرض في الأودية والأنهار والمجاري المائية بصفة عامة، ذلك أن الأمطار بعد نزولها بتسرب جزء منها إلى باطن الأرض لتموين الخزانات المائية الباطنية، وجزء يجري على سطح الأرض نحو المنخفضات سالكا مجاري معينة، وجزء آخر يتبخر في نفس الوقت ليعود إلى الجو، فإذا رمزنا لارتفاع كمية المتوسط السنوي للتساقط على سطح سفوح حوض

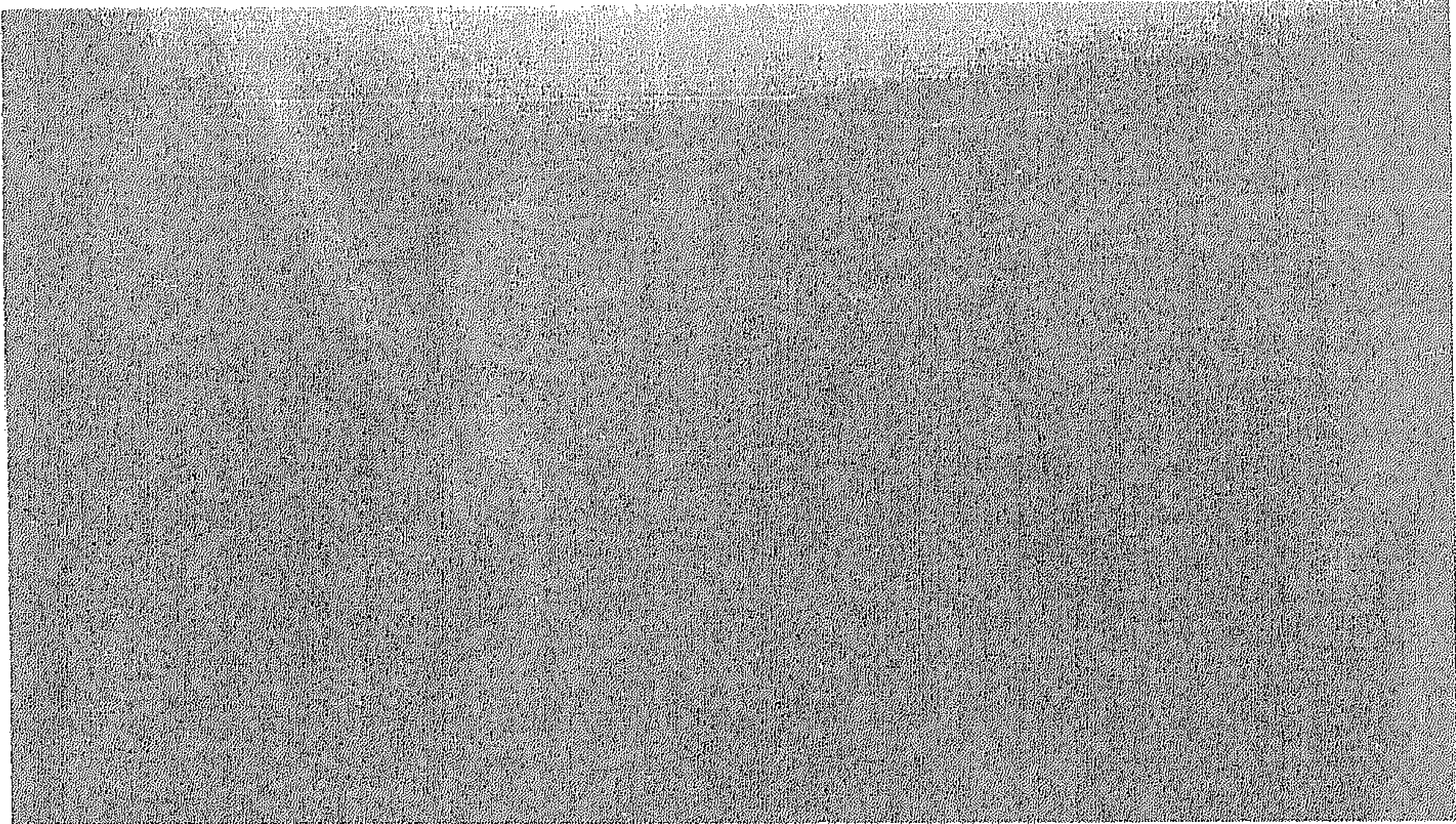
بالحرف "ت" ورمزنا بالحرف "ن" لارتفاع المتوسط السنوي للغشاء المائي أو ما يعرف بالصفيحة المائية lame d’eau La وهو الماء المفروض أن يتوزع توزيعا منتظما فوق سطح هذا الحوض الذي يصرفه سنويا مجرى نهر الحوض أو ما يعرف بانصباب المجرى عند مخرجه فإننا نحصل على عجز الجريان في الصيغة الآتية:

عجز = ت — ن

وكما يلاحظ على هذه الصيغة أن عجز الجريان يساوي تقريبا الكمية المتبخرة وأن معنى للعجز هي المياه المتبخرة والمتسربة التي يفقدها الجريان. وإذا حركنا حدود الصيغة بالنقل من طرف إلى طرف آخر حسب المجاهل والمعالم أمكننها حساب التساقط أو الجريان أو عجز الجريان، وذلك حسب المرغوب.

فمثلا إذا كانت كمية التساقط معروفة وكميت عجز الجريان معروفة وهي التبخر، يمكننا إيجاد الإنصباب أو كمية التي تصرفها مجاري المنطقة: ن = ت — عج.

الجريان السطحي Surface Runoff:



عندما تسقط الأمطار على سطح الأرض فإن جزء منها هذه المياه تترشح إلى باطن الأرض وتغذي المياه الجوفية، وجزء منها يتحرك على سطح الأرض وفقا للجاذبية الأرضية وهذه الحركة تسمى بالجريان السطحي ويعرف بأنه عملية حركة المياه على سطح الأرض والتي تصل إلى الأنهار والبحيرات والجداول ومنها إلى البحار والمحيطات.

العوامل الجوية التي توثر على الجريان السطحي:

- نوع الهطول (الأمطار والثلوج، مطر متجمد، إلخ).
- كثافة الأمطار.
- كمية الأمطار.
- مدة الأمطار.
- التوزيع المكاني والزمني للمياه.
- إتجاه حركة العاصفة.

الخصائص الفيزيائية التي تؤثر في الجريان السطحي:

- الغطاء النباتي.
- نوع التربة.
- حوض الصرف (الوادي).
- طبوغرافية الأرض.
- شكل شبكة تصرف مجاري الوادي.

وجود أنماط تمنع من إستمرار الجريان مثل البرك، والبحيرات، والخزانات، والمصارف، وغير ذلك في حوض الوادي.

حساب معدل التصرف للمجرى المائي:

يمكن حساب معدل التصرف للمجرى باستخدام المعادلة التالية: (التصرف = المساحة × السرعة).

المساحة هي مساحة مقطع المجرى ويمكن أن تتخذ أشكال عده مثل الشكل الدائري أو المثلث أو شكل غير منتظم.

لاحظ شكل (2 – 12أ) يمثل مجرى طبيعي لأحد الأودية.



شكل (2 – 12 أ) كروكي لمجرى طبيعي لأحد الأودية

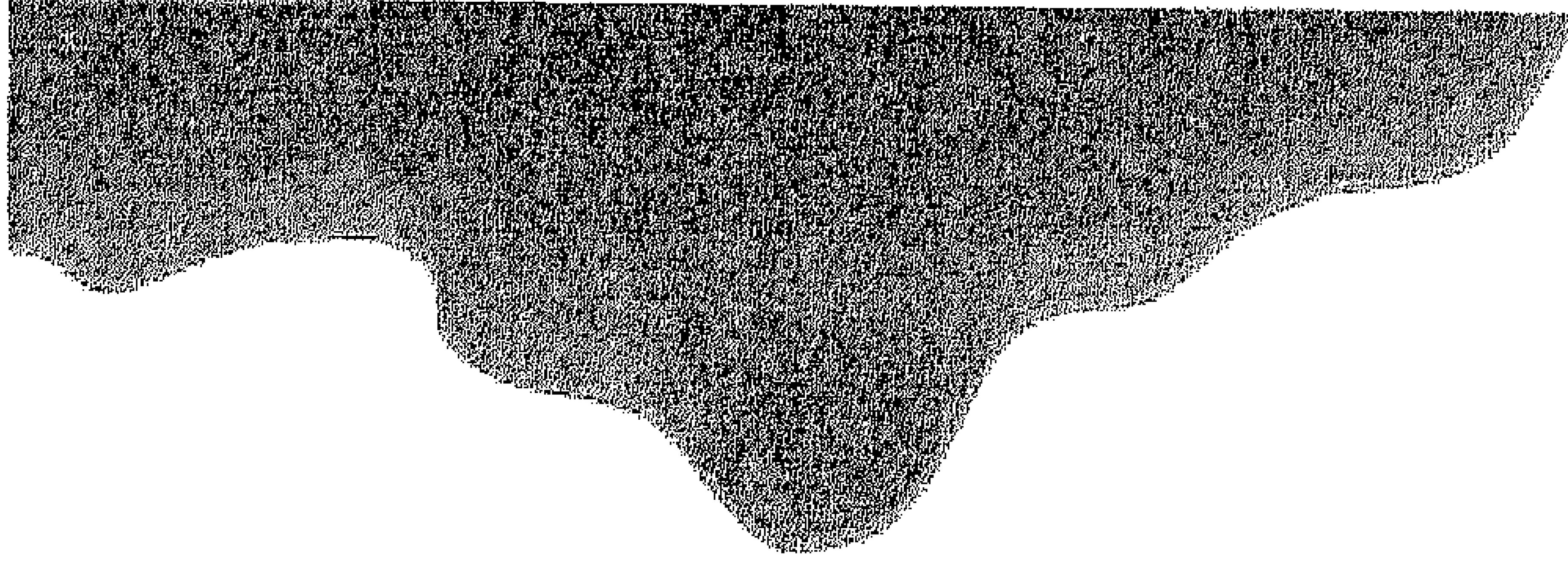
مساحة المقطع في هذا الشكل هي المنطقة المهشرة شكل (2 – 12ب):



شكل (2 – 12ب) مساحة مقطع الوادي

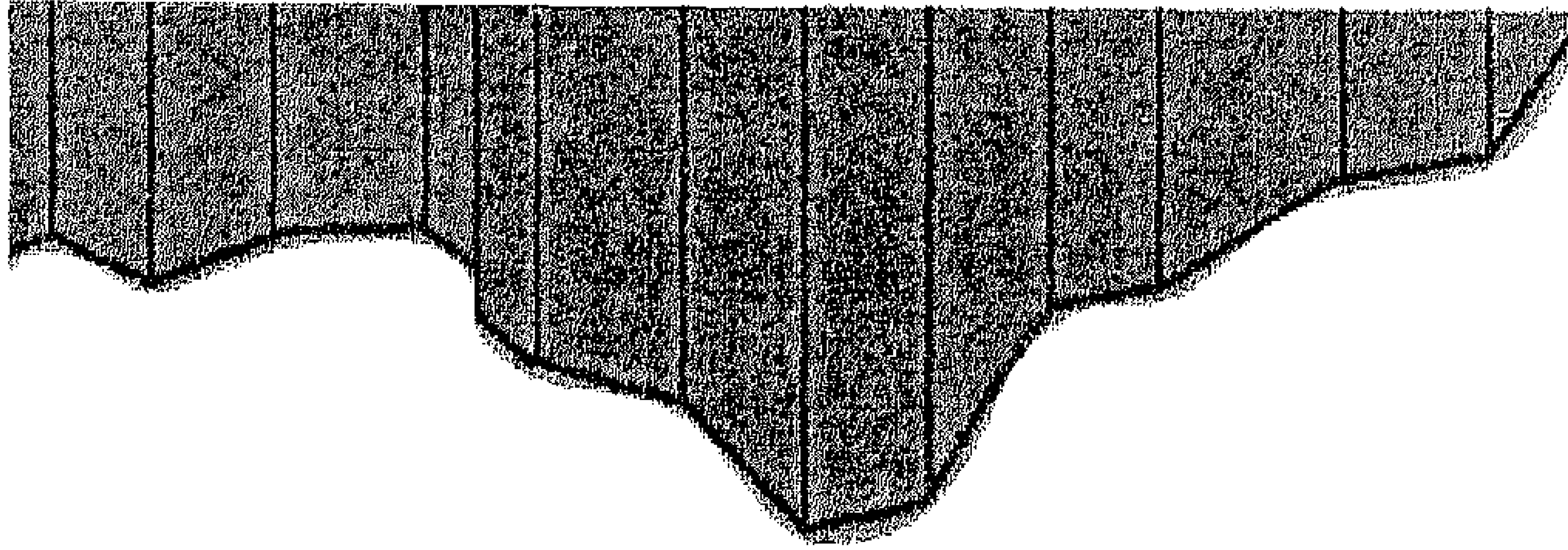
ويمكن حساب مساحة هذا المقطع بأكثر من طريقة منها طريقة تجزيء الشكل إلى أشكال هندسية كالأتي:

هذا هو شكل المقطع:



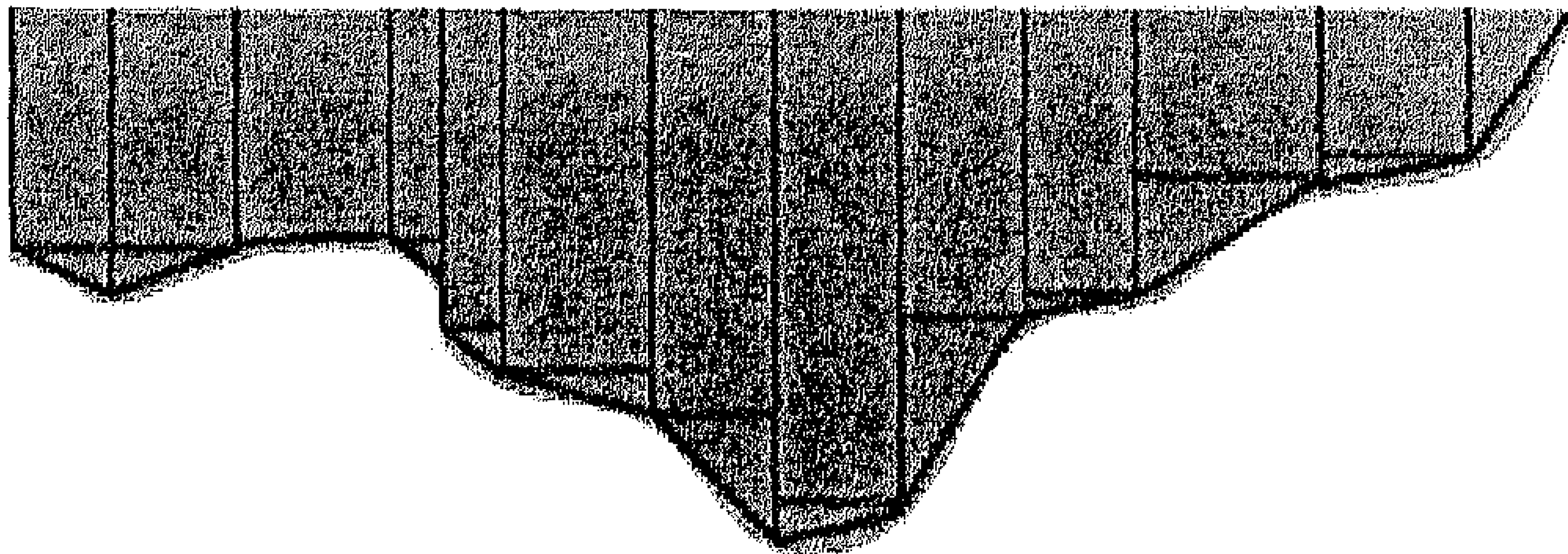
شكل (2 – 12ت) المقطع العرضي للوادي

ثم نقوم بتقسيمه إلى مضلعات وكلما كان عدد المضلعات أكثر كلما زادت دقة القياس:



شكل (2 – 12ث) المقطع مقسم إلى شرائح

الآن نقوم بتقسيم المضلعات إلى أشكال هندسية مستطيلات ومثلثات لكي يسهل حسابها:



شكل (2 – 12جـ) المقطع مقسم لأشكال هندسية

الآن يمكننا حساب مساحة المقطع بجمع الأتي:

مساحة كل مثلث باستخدام المعادلة التالية 0.5 × (الطول × العرض)

مساحة كل مستطيل بالمعادلة التالية (الطول × العرض)

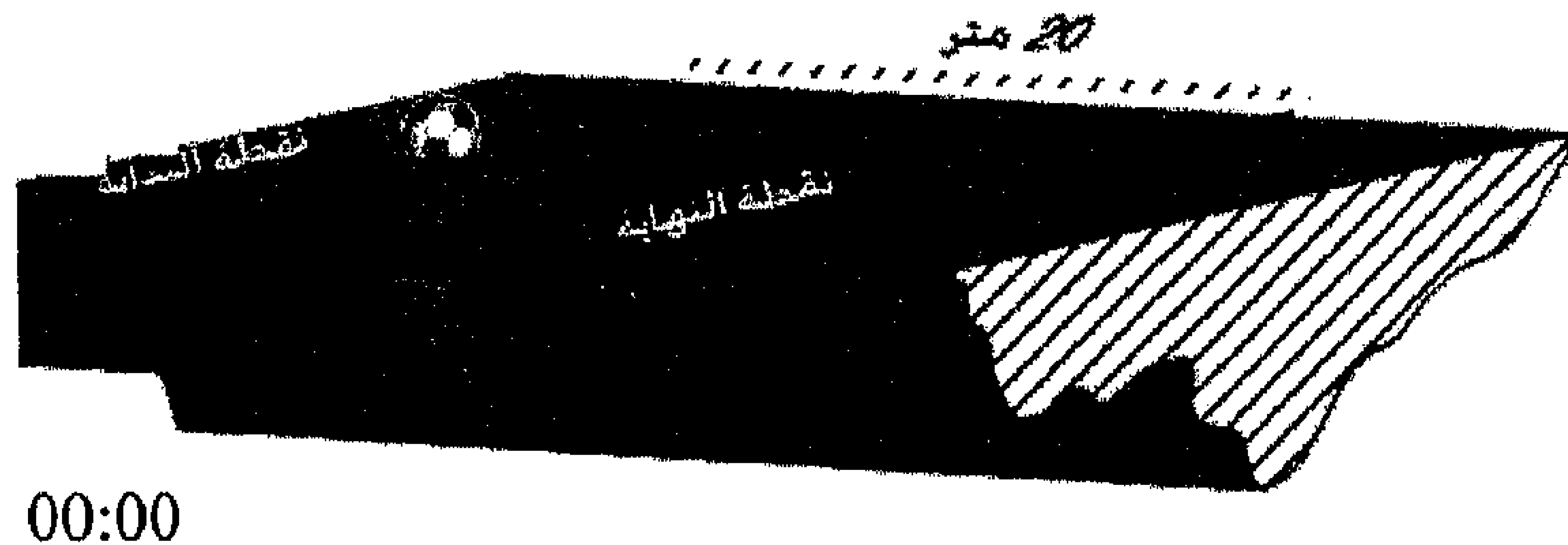
مساحة المقطع = مساحة المثلثات + مساحة المستطيلات

بعد ذلك نقوم بحساب سرعة الماء في المجرى ويمكن ذلك باستخدام أكثر من طريقة منها طريقة الكره ويكون ذلك بتحديد مسافة معينه نضع كره في بدايتها ونحسب الزمن التي ستصل فيه الكره إلى نهاية المسافة.

وهذه السرعة لا تكون معبره عن سرعة المجرى بطريقه صحيحة لأن الماء في جوانب المجرى يكون أبطئ من الماء عند الوسط بسبب الاحتكاك في جوانب المجرى وكذالك الحال في أسفل المجرى.

لذا نحتاج إلى معامل تصحيح ليتم ضربة في السرعة السطحية للمجرى ويمكن ذالك بالمعادلة التالية (متوسط السرعة = 0.8 × السرعة السطحية).

وهذا شكل يوضح عمليه القياس:



شكل (2 – 13) طريقة حساب السرعة السطحية للمجرى

والآن وبعد معرفتنا لمساحة المقطع والسرعة المتوسطة يمكننا حساب التصرف للمجرى من المعادلة التالية:

$$Q = AV$$

حيث:

Q تصرف المجرى (م^3/ث).

A مساحة مقطع المجرى (م^2).

الفيضانات Flood:

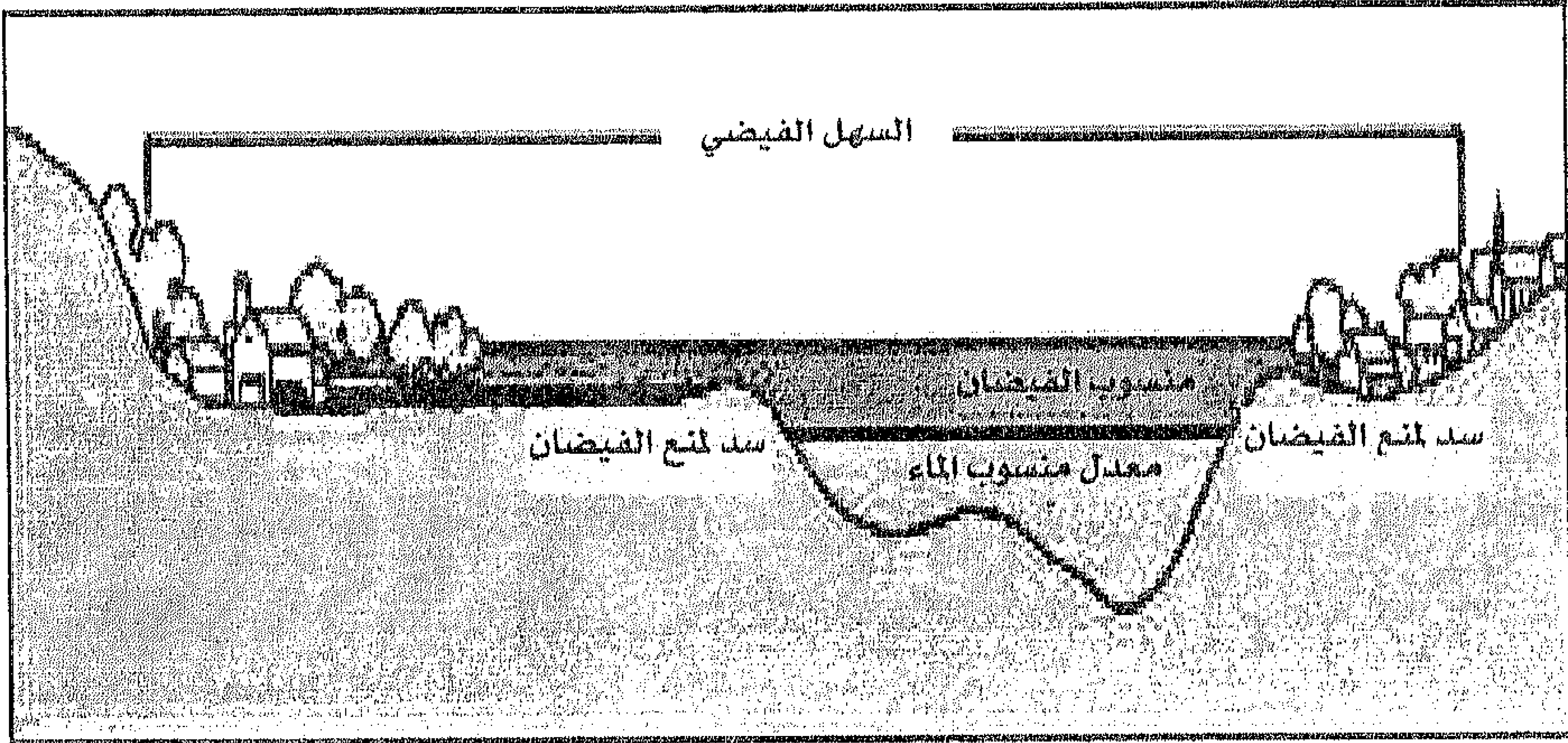
تمثل الأمطار الساقطة أو الثلوج الذائبة أو كلاهما أهم مصادر المياه على سطح الأرض. وتفقد كميات من هذه المياه بفعل التسرب Infiltration خلال طبقات الأرض المنفذة للمياه، أو التبخر Evaporation، أو الامتصاص Absorption عن طريق الحياة النباتية، أو بفعلها جميعاً. أما الكمية المتبقية من المياه فإنها تغذي المجاري النهرية، وعندما لا يحدث هذه الفقد، بوساطة العوامل الطبيعية المختلفة، وتراكم الكتل المائية في المجاري النهرية، بصورة لا تتحملها القنوات أو المجاري المائية، فإنها تفيض على الجانبين، مهددة كل المظاهر العمرانية والحضارية بالدمار. وتحدث الفيضانات دون تحذير أو إنذار، وبصورة متكررة، في العديد من الأنهار، عندما تزداد كمية التساقط على منابعها العليا. ولا تتوقف الفيضانات على الأنهار فقط، فقد أطلق بعض الباحثين على الأمواج العاتية، بسبب الرياح الشديدة أو بسبب الزلازل، الفيضانات الساحلية Coastal Floods.

تعريف الفَيَضان:

مياه تطغى على الأراضي التي عادة ما تكون جافة، وغالبية الفيضانات ضارة، لأنها تتلف المنازل وبعض الممتلكات، وقد تجرف الطبقة العليا للتربة، تاركة

سطح الأرض عارياً. وعندما لا يأخذ السكان حذرهم من الفيضانات، فإن الفيضانات العنيفة تجلب دماراً هائلاً. وقد تفيض الأنهار والبحيرات والبحار على شواطئها. ويمكن أن تكون الفيضانات في بعض الأحيان مفيدة، فعلى سبيل المثال، ساعدت فيضانات نهر النيل – في وقت مبكر– على بناء سهل خصب في السودان ومصر، وجعلت الفيضانات وادي النيل . من أخصب الأقاليم في العالم. فقد جلبت مياه نهر النيل التربة الخصبة من الجنوب، لترسبها مياه الفيضان على السهل الفيضي لهذا النهر.

الفيضانات النهرية:



الفيضان النهري: تفيض مياه معظم الأنهار عن مجراها مرة واحدة كل سنتين تقريبا. فإذا طغت مياه نهر ما على منطقة يعيش فيها السكان فإنها تسبب فيضاناً، أما إذا فاضت مياه نهر ما على أراض لا يعيش فيها سكان عندئذ يقال إنه في حالة فيضان.

يُعدُّ تزامن هطول الأمطار، مع ذوبان الثلوج والجليد، من أكثر الأسباب المتعارف عليها لحدوث الفيضانات. ويمكن تحت هذه الظروف، أن تصل مياه النهر إلى عشرة أضعاف المياه التي تجري عادة في مجراه. وتنتج الفيضانات الوامضة عن الأمطار الفجائية الغزيرة، حين تسبب هذه الأمطار ظهور نهيرات أو جداول، تعمل

على رفع مستوى مياه النهر بصورة فجائية، فتتجاوز مياه النهر ضفافه إلى المناطق المجاورة. فعلى سبيل المثال، هطل عام 1952م ما يقارب 230 ملم خلال 24 ساعة على المنابع العليا لنهر لِنْ الغربي ونهر لِنْ الشرقي في ديفون بإنجلترا، حيث فاضت مياه نهر لِنْ الغربي فاغرقت ضفتيه، وتغلغل سيل جارف داخل بلدة لِنْ ماوث، فقتل 23 شخصاً، وترك 1,000 شخص بدون مأوى .وغالباً ما تحدث الفيضانات الوامضة في المناطق الجبلية والصحاري، عندما تُحوّل العواصف الرعدية النادرة والعنيفة الأودية الجافة إلى سيول هائجة .

تشتهر غالبية الأنهار الكبيرة بفيضاناتها العنيفة، إذ يطلق الصينيون على نهر هوانج هي حزن الصين لما يسببه من دمار. حيث لقي نحو مليون صيني حتفهم في أسوأ فيضان للنهر عام 1887م. كما حدثت كوارث الفيضانات، على طول نهر المسيسيبي وروافده، في الولايات المتحدة. فعلى سبيل المثال، اجتاحت وادي أوهايو ووادي المسيسيبي وروافدهما فيضانات عنيفة قتلت أكثر من 135 شخصاً، وشردت ما يقارب المليون نسمة. وحدث دمار هائل بسبب فيضان مياه الأنهار في ولايتي نيويورك وبنسلفانيا عام 1972م بعد هطول أمطار غزيرة، فسبّبت خسائر تعادل ثلاثة بلايين دولار، بالإضافة إلى بقاء 15 ألف شخص بدون مأوى. وشهد عام 1993م فيضان نهري الميسوري والمسيسيبي في الوسط الغربي الأمريكي أدى إلى خسائر مادية بلغت 10 بلايين دولار وبقي 74 ألف شخص بدون مأوى.

وفي الهند، حدث أسوأ فيضان في تاريخها عام 1840م، عندما ضربت هزة أرضية أعالي وادي السند، فحدث تصدع أرضي، شكلت بموجبه صخرة ضخمة سداً طبيعياً في ذلك الوادي، فتكوّنت بحيرةٌ خلف هذا السد بطول 60كم وبعمق 300م. وما أن اندثر السد حتى اندفع سيل جارف أسفل الوادي، فاضت مياهه على الأراضي المجاورة فأودت بحياة الآلاف من السكان.

أما في أستراليا، فقد حدث أسوأ فيضان من حيث الضحايا عام 1852م. عندما غرق 89 شخصاً من بين 250 نسمة يقطنون غنداجاي في ولاية نيوساوث

ويلز. وفي عام 1916م طغى فيضان عنيف على المناطق المنخفضة في كليرمونت بولاية كوينزلاند فأغرق 61 شخصاً. وفي خريف عام 1975م سببت عواصف وأمطار غزيرة متواصلة فيضاناً في ولايتي نيوساوث ويلز وفكتوريا، تبعه بعد سنة أعنف فيضان على مدى خمسين سنة بوادي نهر موراي.

وفي السودان ومصر يبدأ فيضان النيل عادة في منتصف شهر يوليو من كل عام ويبلغ ذروته في منتصف سبتمبر، وينتهي بنهاية سبتمبر، وحدثت أسوأ الفيضانات في القرن العشرين عامي 1946م و1988م حيث غطت المياه الكثير من المزارع والقرى ونفق الكثير من الحيوانات.

فيضانات السواحل:

تحدث بسبب الأعاصير المطرة وغيرها من الأعاصير العنيفة، حيث تدفع المياه قبالة الخلجان فتتجاوز الأمواج شواطئ البحار متوغلة في اليابسة. في عام 1970م، أدى إعصار عنيف إلى ارتفاع الأمواج ومنسوب المياه في خليج البنغال، مما أدى إلى حدوث أكبر كارثة ناتجة عن الفيضانات الساحلية في التاريخ. فقد ضربت أمواج ضخمة ساحل بنغلادش أغرقت 266 ألف شخص، كما نفقت أعداد كبيرة من قطعان الماشية، وأتلف الفيضان المحاصيل ودمر ملايين المنازل.

وتُحْدِثُ المنخفضات الجوية الفيضانات على السواحل الغربية للقارة الأوروبية. فأحياناً، عندما تكون المنخفضات الجوية فوق بحر الشمال، يتزامن هبوب رياح قوية وظهور مد مرتفع، مما يسبب ارتفاع مياه البحر، فيحدث مدّ هائج على امتداد السواحل الغربية. ففي عام 1953م، أدت هذه الأعاصير إلى ارتفاع الأمواج التي أدت بدورها إلى تحطيم الحواجز على السواحل الهولندية فأغرقت أكثر من 4٪ من مساحة الدولة. كما تحدث الفيضانات الساحلية المدمرة على الساحل الشرقي لإنجلترا بما فيها منطقة لندن. ونظراً لهبوط سطح هذا الإقليم بما يعادل 30 سم كل 100 عام، حسب تقديرات الجيولوجيين، بالإضافة إلى إمكانية ارتفاع

درجة حرارة سطح الارض (ظاهرة البيوت المحمية)، فإن لندن مهددة بحدوث حالات المد الهائج.

وتسبب الزلازل والبراكين أمواجا متلاطمة، ينتج عنها فيضانات ساحلية. ويُدعى هذا النوع من الأمواج الموجة البحرية الزلزالية ومثال ذلك، عندما ثار بركان كراكاتاو في مضيق سوندا غربي جزيرة جاوه عام 1883م، احدث أمواجاً بحرية زلزالية وصل علوها إلى 30م، فقتلت ما يقرب من 30,000 شخص، وقذفت بإحدى السفن 2,5 كم فوق اليابسة.

الفيضانات الأخرى:

تُحدث الأعاصير والرياح العاتية، فيضانات ساحليةً على امتداد شواطئ البحيرات. فقد تحدث مثل هذه الفيضانات، عندما تتحرك المياه بصورة فجائية من جانب إلى آخر وبصورة منتظمة. وتسمى مثل هذه الحركة السيش.

ينتج أيضاً عن انهيار بعض المنشآت كالسدود فيضانات مدمرة. ففي عام 1963م انهار سد فايونت في إيطاليا، فأحدث فيضاناً أودى بحياة ما لايقل عن 1,800 شخص.

التحكم في الفيضان:



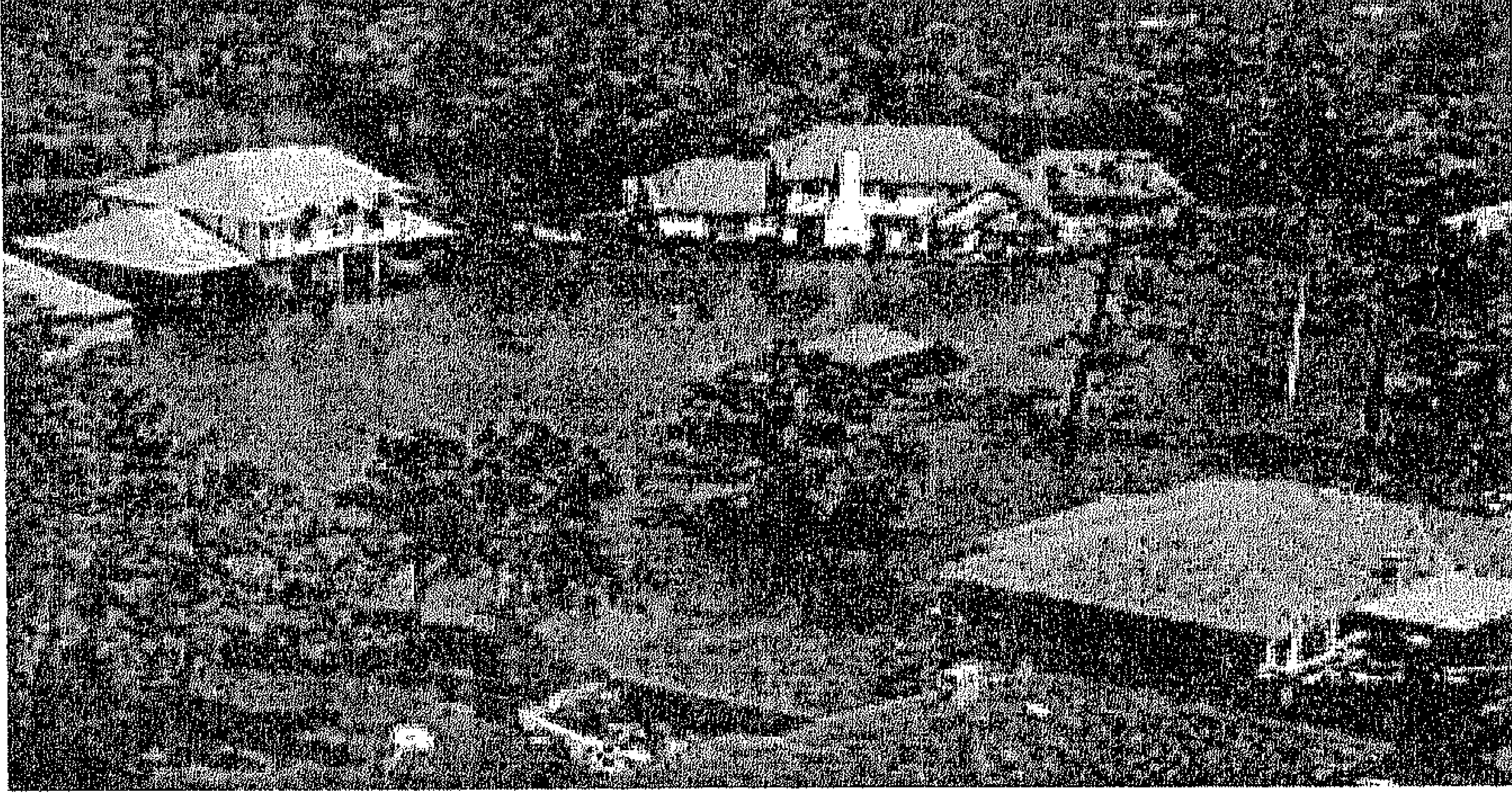
أدت الأنشطة البشرية في بعض المناطق إلى زيادة فداحة الفيضانات، وبخاصة عندما أزيلت الغابات واستُنزفت الأراضي الزراعية. فبدلاً من أن تمتص التربة والنباتات الطبيعية مياه الأمطار، فإن مياه الأمطار في المناطق الجرداء تنساب مباشرة على سطح الأرض العارية نحو الأنهار، فإذا كانت هذه المياه بكميات كبيرة، فإنها تسبب الفيضانات الوامضة. وتتجمع التربة المنجرفة في قيعان الأودية رافعة بذلك منسوب المياه الجارية. وللحد من خطر هذه الفيضانات، يتطلب الأمر إقامة السدود وزراعة الأشجار على السفوح المكشوفة. وينبغي أيضا التنظيف الدائم لمجرى الوادي، وتقوية الضفاف الطبيعية للأنهار بحواجز مرتفعة.

يقوم المهندسون ببناء الحواجز على السواحل البحرية، والسدود الترابية لدرء خطر الفيضانات النهرية، وحواجز الإعصار الممطر للإبقاء على مياه البحر بعيداً عن اليابسة. فعلى سبيل المثال، أقام الهولنديون نظاماً ضخماً من الحواجز المائية، لدرء مياه البحر التي تهدد أراضيهم الساحلية، إذ إن خمسي مساحتها يقع تحت مستوى سطح البحر.

تقوم أيضاً بعض المدن الساحلية بعمل جدران حجرية تمنع ولوج مياه المد العالي إلى اليابسة. كما يلجأ بعضها إلى إقامة حواجز مصنوعة من الخشب لمنع انجراف الشواطىء. وتزرع الكثبان الرملية في بعض المناطق بالأشجار، فتعمل على تثبيت الرمال وتجميعها لتشكل حواجز تصد فيضان المدّ المرتفع.

تحمي الحواجز المتحركة بعض المعابر النهرية التي تعاني خطر مياه المدّ المرتفع. فعند وولويتش بلندن، أقيمت سلسلة من البوابات الفولاذية المتحركة، لتشكل حواجز للفيضانات الساحلية على طول نهر التايمز، حيث تدور هذه البوابات حول دعامات إسمنتية، وتُغمر تحت الماء في بطن النهر عند عدم الحاجة إليها بصورة لا تعطل حركة الملاحة في النهر. وعند اقتراب حدوث مد مرتفع، تقوم الجهات المعنية بإصدار تحذير، تُرفع بموجبه تلك البوابات، لتمنع المياه من اجتياح مدينة لندن، وقد اكتمل بناء هذا المشروع عام 1982م.

الحد من خسائر الفيضان:



لا يقوم المهندسون فقط بمحاولة الحد من الفيضانات، وإنما يقومون أيضا بمحاولات أخرى للتقليل من خسائرها، إذ تشمل محاولاتهم بعض الترتيبات الخاصة لإقامة مراقبة دائمة في السهول الفيضية وجعل الأبنية مقاومة للماء، كما تشمل بعض البرامج خططاً لمساعدة ضحايا الفيضانات مثل: تقديم وسائل للتحذير والإجلاء والتأمين على حياتهم وإغاثتهم في الوقت المناسب .

باستطاعة العلماء تحديد المناطق المعرَّضة لخطر الفيضانات. ففي الولايات المتحدة، أبقت الحكومة على شريط ضيق من الأرض، على امتداد المجاري المائية بدون استخدام. وتسمى هذه الأشرطة بمسارب الفيضان، كما حددت بعض التجمعات السكانية مناطق شاسعة، حول المجاري المائية، لاستعمالها مواقف للسيارات أو للزراعة.

ويمكن إقامة مبانٍ دائمة ضمن السهول الفيضية، إذا صممت لتقاوم الفيضانات. ويطلق على التقنية التي تبقى المياهُ بموجبها خارج المباني مانع الفيضان وتتضمن هذه التقنية رفع الأبنية عن الأرض، أو استعمال مواد إنشائية مقاومة للماء.

يؤدي الرصد الجوي دوراً كبيراً في التقليل من خسائر الفيضان، عندما يصدر تحذيرات تتعلق بالأعاصير والفيضانات، فهو يأمل بذلك التقليل بشكل كبير من إزهاق الأرواح والحد من الخسائر في الممتلكات.

وعلى أية حال، ستستمر المآسي في حالة حدوث فيضان، وستصبح الإغاثات الدولية ضرورية جداً لمساعدة ضحاياه.

تأثيرات اخرى للفيضانات:

لا تتوقف تأثيرات الفيضانات على تدمير المظاهر العمرانية والحضارية، بل تمتد إلى أكثر من ذلك، فتهدد الحياة البشرية والنباتية، كما أنها تؤدي إلى تعرية التربة الزراعية من إرسابات الأنهار الخصبة، وإضعاف الطاقة الكهرومائية المولدة. وتجدر الإشارة إلى أن هناك علاقة طردية بين سرعة التيارات المائية وكميتها من جهة، وأضرار الفيضانات من جهة أخرى، بمعنى أنه كلما زادت سرعة التيارات المائية وكميتها، زادت معها الأضرار، التي تسببها الفيضانات.

السيطرة على الفيضانات:

حاول الإنسان منذ القدم السيطرة على الفيضانات بعدة طرق أساسية، مثل استزراع الغابات Reforstation، وعمل القناطر والسدود لضبط مياه الأنهار، والمفيضات Floodways، وهي قنوات صناعية، تحفر بجوار الأنهار لاستقبال المياه الزائدة عنها.

فقد أقام الصينيون القدماء العديد من السدود لمنع فيضانات نهر الهوانجهو، ويعد فيضان سنة 1887 من أسوأ الفيضانات، التي حدثت في الصين، إذ اخترق الهوانجهو كل السدود، التي تعترض مجراه، ودمر المناطق السكنية، وقتل أكثر من مليون نسمة. ونظراً لكثرة فيضاناته أُطلق عليه نهر الكوارث.

وهناك العديد من المشاريع الهندسية المُقامة على العديد من الأنهار، لضبط مياهها والتحكم فيها، وتتصدر الولايات المتحدة دول العالم في هذه المشاريع، حيث يتوافر فيها أعداد كبيرة من السدود المُشيدة على عدد من أنهارها، ويأتي في مقدمتها سدود وادي تنسي Tennessee، التي تبلغ واحد وثلاثين سداً.

- **التوزيع الجغرافي للأنهار على مستوى القارات:**

تختلف الأنهار في أطول مجاريها، فيتصدرها نهر النيل في أفريقيا، إذ يبلغ طول مجراه حوالي 6650 كيلومتراً، كما يوضح الجدول الرقم (17)، يليه نهر الأمازون في أمريكا الجنوبية (6437 كيلومتراً)، ويأتي بعد ذلك أنهار المسيسبي/ المسيسبي ميسوري في أمريكا الشمالية (6020 كيلومتراً)، ثم ينسي (5540 كيلومتراً)، ثم اليانجتسي (5494 كيلومتراً)، ثم أوب (5410 كيلومتر) في آسيا، وهي الأنهار الرئيسية الكبرى في العالم، حيث يتجاوز طول المجرى لكل منها خمسة آلاف كيلومتر، ولإبراز الصورة العامة للأنهار في العالم، سيتم معالجتها على مستوى القارات على النحو التالي:

1) انهار قارة آسيا:

أن قارة آسيا تضم بين أراضيها سبعة أنهار من أطول أنهار العالم البالغ عددها خمسة عشر نهراً. ومنه يمكن تقسيم أنهار قارة آسيا إلى أربع مجموعات هي:

أ. أنهار شمال القارة

وتضم هذه المجموعة الأنهار، التي تجري في سيبريا بشمالي القارة، وأهم أنهارها أوب، وينسي، ولينا، وآمور، وكلها تتجه من الجنوب إلى الشمال، لتصب في المحيط المتجمد الشمالي، وتتسم أنهار هذه المجموعة، باستثناء نهر آمور، ببطء جريانها نظراً للانحدار البسيط لسطح الأرض صوب الشمال، وتتجمد مياه هذه الأنهار معظم شهور السنة، وتذوب الثلوج في فصل الصيف القصير، لذا يكثر وجود المستنقعات خلال هذا الفصل على جوانب هذه الأنهار.

وفيما يلي دراسة لأهم أنهار هذه المجموعة:

- نهر ينسي:

يعد واحداً من أطول أربعة أنهار في العالم، حيث يبلغ طول مجراه حوالي 5540 كيلومتراً، لذا يتصدر أنهار آسيا من حيث طول المجرى، في حين يحتل المرتبة السابعة بين أنهار العالم من حيث مساحة حوضه، التي تقدر بنحو 2.5 مليون كيلومتر مربع تمثل 1.7٪ من إجمالي مساحة اليابس. وينبع النهر من مرتفعات منغوليا، ويصب في بحر كارا Kara بالمحيط المتجمد الشمالي.

وتفيض مياه النهر مرتين سنوياً، الأولى خلال فصل الربيع، نتيجة ذوبان الجليد بتأثير ارتفاع درجة الحرارة، والثانية خلال فصلي الصيف والخريف نتيجة سقوط الأمطار الغزيرة، وتتجمد مياه النهر خلال شهور الشتاء.

- نهر آمور:

يتذيل نهر آمور قائمة أطول أنهار العالم، أي أنه يأتي في الترتيب الخامس عشر بين أطول أنهار العالم، إذ يبلغ طوله نحو 2824 كيلومتراً، ويحتل الترتيب الحادي عشر من حيث مساحة حوضه، التي تصل إلى 1.86 مليون كيلومتر مربع، بما يعادل 1.3 من مساحة اليابس. وينبع النهر من مرتفعات منغوليا الداخلية، ويصب في مضيق تاتار Tatar، الذي يفصل سيبريا عن جزيرة سخالين في المحيط الهادي. ويُعرف النهر في الصين باسم Hei Lung وتعني التنين الأسود، ويُعرف في منغوليا باسم Kharamuren وتعني النهر الأسود.

وتفيض مياه النهر خلال فصل الربيع نتيجة لذوبان الجليد، وخلال فصلي الصيف والخريف، عندما تسقط الأمطار الغزيرة، الناتجة عن هبوب الرياح الموسمية الآتية من المحيط الهادي.

ب. أنهار شرق القارة

وتجري أنهار هذه المجموعة فوق أراضي الصين، وهي من الشمال إلى الجنوب:

- نهر الهوانجهو

ويعني النهر الأصفر، وينبع من السفوح الشمالية لمرتفعات بايانكارا Bayan Kara بمقاطعة تشنغهاي الصينية، ويقطع مسافة تصل إلى نحو 4845 كيلومتراً، قبل أن يصب في خليج شيهلي في المحيط الهادي. وتبلغ مساحة حوضه حوالي 745 ألف كيلومتر مربع.

ويعد هذا الحوض مهد الحضارة الصينية القديمة، وفي الوقت نفسه، كان يمثل الكثير من الكوارث، التي عانى منها شمال الصين، حتى نجح الصينيون في ترويضه وإخضاعه لسيطرتهم، مما أسهم في تزايد أهميته الملاحية.

- نهر اليانجتسي:

ويعني نهر ابن المحيط، ويحتل الترتيب الخامس بين أنهار العالم، والترتيب الثاني بين أنهار قارة آسيا، من حيث طول المجرى، الذي يبلغ نحو 5494 كيلومتراً، هي طول المسافة بين منبعه من مرتفعات كوكو شيلي غرب مقاطعة تشنغهاي، ومصبه في بحر شرق الصين في المحيط الهندي، بالقرب من مدينة شنغهاي. ويمثل حوض هذا النهر أعظم أنهار الصين، وأكبرها مساحة، حيث تبلغ مساحة حوضه حوالي 196.0 مليون كيلومتر مربع.

- نهر سيكيانج:

ويعني نهر اللؤلؤ، وينبع من مرتفعات وومنج، شرق مقاطعة يونان، ويتجه صوب الشرق لمسافة 1957 كيلومتراً، ليصب في بحر جنوب الصين في المحيط الهادي، وهو يتألف من ثلاثة أنهار هي شيجيانج، ويايجيانج، ودونججيانج، التي

تلتقي قرب خط الساحل في دلتا نهر السيكيانج، ويعني ذلك، أنه على الرغم من قصر مجرى النهر إلاّ أن امتداد روافده في مساحة واسعة، أسهمت في اتساع حوضه، الذي يبلغ نحو 420 ألف كيلومترٍ مربعٍ، مما زاد من أهمية النهر وجعله طريقاً رئيسيّاً للتجارة.

ج. أنهار جنوب القارة:

تشمل هذه المجموعة أنهار شبه جزيرتي الهند الصينية والهند، وتضم أنهار ميكونج (4000 كيلومترٍ)، وسالوين (2800 كيلومترٍ)، وإيراوادي (2090 كيلومتر) في الهند الصينية، والسند (3168 كيلومتر)، والبراهمابوترا (2880 كيلومتر)، والجانج (2506 كيلومتر) في شبه القارة الهندية.

- نهر ميكونج:

يُعد أطول أنهار هذه المجموعة، وسادس أنهار آسيا، حيث يبلغ طول مجراه حوالي أربعة آلاف كيلومتر، يقطعها من منابعه في مقاطعة تسنجهاي الصينية إلى مصبه في بحر جنوب الصين، من جنوب من مدينة هوشي منه، وتبلغ مساحة حوضه حوالي 795 ألف كيلومتر مربع، يقع ما يقرب من ربع هذه المساحة داخل أراضي الصين، وتتوزع النسبة الباقية على أراضي لاوس، وتايلاند، وكمبوديا، وفيتنام. ويتصف ما يقرب من نصف طول المجرى (46٪)، وخاصة الأعلى منه، القريب من المنابع، بالضيق وسرعة جريان المياه، بسبب اختراقه نطاقات جبلية وهضبية وعرة، في حين يتسم النصف الأدنى باعتدال التيار وغزارة المياه.

- نهر الجانج:

يبلغ طول مجراه حوالي 2506 كيلومتر، وهو طول المسافة من منابعه في السفوح الجنوبية لمرتفعات الهيملايا إلى مصبه في خليج البنغال. ويخترق النهر في نطاقه الأوسط سهل جانجتيك Gangetic الخصب، الكثيف السكان، ذو الأهمية

التاريخية، حيث كان مهداً للعديد من الحضارات القديمة، مثل مملكة أسوكا Asoka، التي تأسست خلال القرن الثالث قبل الميلاد، وإمبراطورية المغول، التي شيدت في القرن السادس عشر الميلادي، فضلاً عن أن أهمية النهر الدينية عند الهندوس، الذين يشكلون أكبر طائفة دينية في الهند، لذا يتخذ النهر وضعاً مميزاً على مستوى الهند وعلى مستوى القارة الآسيوية.

ويضم النهر عدة روافد رئيسية، أهمها بهاجيراتي Bhagirathi، والاكناندا Alaknanda، وماندكيني Mandakini، ودهولي جانجا Dhauli Ganga، وبيندار Pindar، وكلها تنبع من جبال الهيملايا، ويعد بهاجيراتي والاكناندا أهم روافد نهر الجانج، حيث يكوّنان عند التقائهما المجرى الرئيسي لنهر الجانج.

ويتوقف منسوب المياه في مجرى نهر الجانج على مياه الأمطار، التي تجلبها الرياح الموسمية صيفاً، وعلى الثلوج الذائبة على السفوح الجنوبية لمرتفعات الهيملايا في فصل الربيع.

السهل الفيضي:

من الظاهرات الأساسية، التي تنشأ عن الإرساب النهري. فالنهر يحمل في بعض السنوات كميات كبيرة من الماء لا يتحملها مجراه، فيفيض على الجانبين، وتنتشر مياه الفيضان، حاملة ما بها من رواسب على قاع الوادي، مكونة طبقة رقيقة من المياه، وبالتالي، تقل سرعتها إلى حد بعيد، فتفقد قدرتها على الحمل، وتبدأ في إرساب حمولتها. وعاماً بعد آخر، يتكون السهل الفيضي بهذه الطريقة. إضافة إلى أن النهر عندما يفيض على الجانبين، يتخطى ضفافه وجسورة، وينحت منها، فيزداد الإرساب على السهل الفيضي. وتتنوع الرواسب على حسب أحجامها في السهل الفيضي، فالرواسب الخشنة هي التي ترسب أولاً بجوار ضفاف النهر لعجزه عن حملها، أما التكوينات الدقيقة الحبيبات الناعمة، فتظل عالقة بالمياه لمسافة أبعد عن مجرى النهر حتى ترسب في المناطق القاصية عن قناته.

الدلتاوات:

عندما يصل النهر إلى المسطحات المائية، التي يصب فيها، تنساح مياهه على مساحة كبيرة، وتضعف مقدرته على الحمل، فيأخذ في إرساب حمولته في هذه المسطحات المائية الشاطئية الضحلة، ويتراكم الإرساب مع مرور السنين، فتظهر دلتا للأنهار من تحت سطح الماء، وهي ذات تربة خصبة، وقد تكون الدلتا كبيرة المساحة، إذا كان نهران كبيران يصبان في البحر خلالها. ويشترط لتكوين الدلتا أن تكون مياه المصب ضحلة، والتيارات البحرية فيها والأمواج ضعيفة، ولا يتعرض خط الساحل لحركات مد وجزر عنيفة، حتى لا تتشتت الرواسب، وبالتالي لا تتكون الدلتا. وتتميز الدلتاوات بوجود بحيرات ساحلية عند أطرافها من جهة البحر، لأنها لم تمتلئ بعد بالرواسب. ويتفرع النهر في الدلتا إلى عدة فروع، قد ينطمر بعضها بالرواسب، ويبقى بعضها الآخر. ولا تتكون لبعض الأنهار دلتاوات عند مصباتها لأسباب من أهمها: قلة الرواسب في مياهها، وكون مياه المصب البحري عميقة، وتعرضها لأمواج عنيفة، وتعرضها لحركات مد وجزر كبيرة، ووجود تيارات بحرية قوية. كل هذه الظروف تعمل على تشتيت الرواسب، وبالتالي لا تتكون الدلتا في نهر الكونغو، أو لغرق مصباتها لسبب أو لآخر، مثل نهر التايمز في إنجلترا، ونهر هدسن في شمال شرق الولايات المتحدة الأمريكية.

المراوح الفيضية:

المروحة الفيضية تشبه الدلتا في شكلها المثلثي، وتتكون المراوح الفيضية عند أقدام الجبال، نتيجة سقوط المياه من المرتفعات إلى المناطق الأقل منسوباً، ويقل الانحدار في الأرض المنخفضة، وتنساح المياه على مساحات واسعة، فتقل سرعتها، وبالتالي تبدأ في إرساب حمولتها على شكل مروحة غرينية مثلثة الشكل، رأسها عند قدم الجبل، وقاعدتها بعيدة عنه، وتتنوع الرواسب فيها حسب البعد من تغير نقطة الانحدار، فعند قدم الجبل ترسب المواد الخشنة أولاً، أما المواد الدقيقة الناعمة، فترسب بعيداً. وعندما تكون هنالك سلسلة جبلية ممتدة، وتسقط الأمطار عليها،

تتكون عند أقدامها عدة مراوح فيضية، وعندما تنمو هذه المراوح الفيضية، وتتصل ببعضها، تكوّن سهلاً فيضياً يُعرف باسم البهادة أو البيجادا مثل سهل الباطنة في عمّان.

كوارث الفيضانات والسيول المدمرة:

الكارثة:

هي نتيجة انهيار كبير في العلاقة بين الإنسان والبيئة المحيطة به، فهي حادث خطير يجعل المجتمع المنكوب بحاجة إلى جهد كبير للتغلب على هذا الحادث وغالبا ما يتم ذلك باللجوء إلى مساعدات داخلية وخارجية ومعونات دولية.

تصنيف الكوارث:

1. كوارث طبيعية بحته: الزلازل – انفجار البراكين – الأمطار الغزيرة – الفيضانات والسيول المدمرة – الرياح المدارية – الأعاصير – الحرائق الناتجة عن الحرارة العالية – الإنزلاقات الأرضية.

- كوارث طبيعية وأحياناً من صنع الإنسان بطيئة الحدوث: الجفاف – التصحر – المجاعة.
- كوارث طبيعية وأحياناً من صنع الإنسان سريعة الحدوث: حوادث الحركة – حوادث الطائرات – الحوادث التقنية – الحوادث الصناعية.
- كوارث من صنع الإنسان سريعة الحدوث: الحروب والاضطرابات الأهلية – الحرائق المتعمدة.
- كوارث من صنع الإنسان بطيئة الحدوث: التلوث البيئي – الكوارث الاقتصادية – التوث.

الفيضانات:

كارثة طبيعية تحدث نتيجة هطول كميات كبيرة من الأمطار لفترة طويلة من الزمن في منطقة محددة، أو ذوبان سريع لكميات كبيرة من الثلوج أو الأنهار الجليدية أو نتيجة للمد البحري، يحدث من جرائها زيادة في منسوب المياه عن معدلها الطبيعي فتخرج إلى اليابسة بكميات كبيرة جالبة معها الدمار.

أسباب الفيضانات:

- حدوث هزات أرضية في قيعان البحار.
- اقتلاع الغابات والنباتات التي تعيش قرب الأنهار فالغابات تستهلك كميات كبيرة من المياه وعند إزالتها يقل استهلاك المياه مما يسبب في الفيضانات.
- انصهار الجليد وانصبابه في الأنهار.
- العواصف القوية والأعاصير.
- هطول الأمطار بمستويات غير طبيعية.
- انهيار السدود.
- الاحتطاب الجائر في مناطق هطول الأمطار وإزالة الأحراش من جوانب الأودية.
- التغيير في ضغوطات المياه أسفل المحيطات.
- تغير مجاري الاودية وتضييق مجراها..
- الانسداد لمجاري السيول بالإنشاءات والسيسبان وأكوام الحفريات.
- ارتفاع قيعان الأودية بسبب تراكم الطمي.
- المبالغة في ملئ المزارع بمياه السيول وعمل الأسوام (البتون) العملاقة.
- التغيير في ضغوطات المياه أسفل المحيطات.

فالفيضانات قد تحدث في أي مكان نتيجة غزارة الأمطار، وقد تحدث بعد فترة جفاف. فعندما يسقط المطر الغزير على ارض جافة وصلبة حيث لا يتمكن الماء من اختراق الأرض. وقد تكون الفيضانات ناتجة عن حدوث عواصف رعدية أو إعصار

استوائي أو منخفض جوي عميق وربما ناتجة عن حالات عدم الاستقرار الجوي. والفيضانات تؤثر على حياة الإنسان من مختلف النواحي وقد تكون سببا في الوفاة، ومن نتائجها ومخاطرها انتشار الأمراض والإغراق ولدغ الأفاعي وهدم وتكسير وأنقاض وانزلاق للتربة وانهيارات وتسرب المجاري كما تؤثر سلبا على الزراعة والثروة الحيوانية، وتشير التقديرات إلى تأثر 1.5 مليار شخص في العقد الأخير من القرن العشرين بسبب الفيضانات.

وعموما يمكن تلخيص الآثار الناجمة عن الفيضانات في:

- تهدم المنازل.
- تشريد الآلاف من السكان وجعلهم بلا مأوى.
- تهدم البنية التحتية للدولة مثل قطع الطرقات الترابية والاسفلتيه وتكسير الكباري والعقبات وامدادت الكهرباء والمياه والتلفون...الخ
- إفساد وهجر المزارع والتخلي عن زراعة المحاصيل.
- انتشار الأمراض والأوبئة في المناطق المنكوبة وبين السكان.

فوائد الفيضانات:

تنحصر فوائدة وخاصة الفيضانات النهرية في تغذية خزانات المياه الجوفية.

ماذا تفعل قبل وأثناء وبعد الفيضانات:

أولا: قبل الفيضانات

- يجب أن تكون هناك منطقة معروفة بالمنزل لجميع أفراد الأسرة توضع بها جميع احتياجاتكم من الأمتعة.
- احتفظ بمخزون من الأكل المطلوب، والذي لا يحتاج إلى طبخ أو تبريد لأنه يمكن أن تنفصل الطاقة الكهربائية عنه.

- احتفظ براديو متنقل، ومعدات طبخ خاصة بالطوارئ، وكشافات تعمل بالبطاريات، وكمية من البطاريات الاحتياطية.
- أحتفظ بمعدات الإسعافات الأولية أو أي مواد طبية أخرى يحتاج لها أفراد عائلتك.
- احتفظ بسيارتك معبأة بالوقود لأنه إذا انفصل التيار الكهربائي فإن محطات البنزين سوف لا يمكنها العمل لمدة من الزمن.
- احتفظ بمواد مثل أكياس الرمل، خشب الأبلاكاش، الصفائح البلاستيكية والأغطية الخشبية لمنع مياه الفيضان.
- لا تحاول وضع أكياس الرمل حول جدران المنزل إذا كان هناك احتمال حدوث فيضان في المياه بدرجة عميقة، لأنه ربما يسبب ذلك انسياب المياه تحت أكياس الرمل، ويهدد بانهيار.

جدران الغرف بطول بقاء الفيضانات. وبالتدريج تتصدع، لذا أترك المياه تتدفق بحرية إلى داخل الغرف، أو عبئ الغرف بمياه نظيفة، وهذا مما يخفف الضغط وتعتبر هناك معادلة بين ضغط المياه الخارجية ومياه الفيضان.

- أعمل على تخزين مياه الشرب في أوعية نظيفة لأنه ربما تنقطع شبكة المياه.
- إذا كان هناك فيضان وشيك الحدوث وهناك متسع من الوقت. أعمل على تحريك الأثاث.
- والأشياء المهمة إلى الطابق الأعلى من منزلك وأفصل التيار الكهربائي عن الأجهزة الكهربائية ولا تلمسها إذا كنت مبتلا أو واقف على الأرض مبللة.
- لا تتجاهل الإرشادات والإنذارات.

ثانياً: الإخلاء

إذا لزم الأمر بإخلاء منزلك إلى موقع آخر مؤقت هناك عدة أشياء يجب أن تكون في حسابك.

1. اتبع النصائح والتعليمات التي تصدرها السلطات:

- إذا صدرت إليك التعليمات بالإخلاء أفعل ذلك فوراً.
- إذا صدرت إليك التعليمات بالتحرك إلى موقع معين، اذهب ولا تذهب إلى مكان غيره.
- إذا حدد لك مسارات موصي بها، استخدم تلك الطرق، ولا تستخدم أي مسارات تعتقد بأنها قصيرة.
- افصل الكهرباء والماء قبل مغادرة المنزل.
- أعرف عن طريق الراديو أماكن إسكان الطوارئ ومحطات التغذية إذا أردت استخدامها.
- إذا كان من المحتمل أن تغمر المياه منزلك فعليك أن تكتب أسمك على أعلى السقف، لكي يتمكن الذين يرغبون في مساعدتك من معرفته.

2. إذا لم تتلقى تعليمات من سلطاتك، أفعل الآتي قبل مغادرة منزلك:

- أحمل ممتلكاتك إلى داخل منزلك أو أربطها بكل أمان، وهذه تشمل أثاثات خارجية مثل معدات حديقة، أو أي أشياء متحركة أخرى من المحتمل أن تجرفها مياه الفيضان.
- افصل الكهرباء عن الأجهزة أو المعدات التي لا يمكن تحريكها، ولكن لا تلمسها إذا كنت مبللا أو واقفاً على أرض مبللة.
- أغلق أبواب ونوافذ المنزل.
- كن حذراً عند الانتقال، إذا أعدت السلطات وسائل الانتقال يجب أن تتخذ التدابير لسلامتك، ولكن إذا كنت ماشياً على رجليك أو قائداً سيارتك لوحدك ضع النقاط التالية في حسابك:

• غادر المنزل مبكراً قبل أن تحيطك مياه الفيضان في الطريق.
• تأكد من وجود وقود كاف لسيارتك.
• اتبع المسارات الموصي بها.

- في الطريق استمع إلى الراديو للمزيد من التعليمات الصادرة من السلطات المختصة.
- انتبه لمجاري الأودية، أو المستنقعات إلا إذا كنت متأكداً من أن مستوى الماء أدنى من ركبتك أو على نصف عجلات سيارتك على طول الطريق الذي تسير فيه، وفي بعض الأحيان مياه الفيضان تغطي جسراً منجرفاً، أو طريقاً مكسراً لذلك سر ببطء لئلا تدخل المياه إلى سيارتك وتعطلها.
- انتبه إلى مجاري الصرف المكسرة وخطوط وكوابل الكهرباء الساقطة أو الآيلة للسقوط.
- انتبه إلى الطرق المحفورة بواسطة المياه، الانهيارات الأرضية.
- لا تبق في مجرى الوادي بعد هطول الامطار.

ثالثاً: بعد الفيضان

- لا تأكل الطعام الذي اختلط بمياه الفيضان بقدر الإمكان خوفا من أصابتك بأمراض.
- اختبر المياه قبل شربها، كذلك يجب أن تضخ المياه من الآبار لاختبار صلاحيتها.
- لا تزور مناطق الكوارث، ربما يعيق وجودك هناك عمليات الإنقاذ وعمليات الطوارئ الأخرى.
- لا تتعرض للمعدات الكهربائية في المناطق المبللة. ويجب فحص الأدوات الكهربائية وتجفيفها.
- استخدم الكشافات التي تعمل بواسطة البطاريات لرؤية المباني والمواد القابلة للاشتعال التي تكون بالداخل.
- أبلغ عن خطوط الخدمة المكسرة إلى السلطات المختصة.
- استمر في الاستماع إلى التعليمات الصادرة عن طريق جهاز الراديو أو التليفزيون عن المناطق التي يوجد بها الرعاية الطبية والمساعدات الأخرى من سكن وغذاء ومأوى.

السيول:

تحدث السيول كظاهرة عندما يزيد الهطول المطري عن قدرة التربة على استيعاب الارتشاح رأسيا إلى أسفل، مما يؤدّي إلى تحرك المياه على شكل جريان سطحي يتجه إلى ما يقابله من المناطق المنخفضة والأكثر انخفاضا، والتي تقل مساحتها عن مساحة مجمع الأمطار، مما يجعل سرعة المياه كبيرة وقدرتها التدميرية هائلة حيث تكتسح في طريقها كل ما يعترضها من الأخضر واليابس كالبشر والبهائم والأخضر والمنشآت، وتتسبب في خسائر في الأرواح والممتلكات والبنية الأساسية التحتية.

أسباب حدوثها:

تعتبر السيول واحدة من العمليات الثانوية التي تشملها الدورة الهيدرولوجية المغلقة التي تبدأ وتنتهي عند البخر من الأسطح المائية الحرة والتبخر والنتح من اليابسة التي أصابها الابتلال ويقوم عليها غطاء خضري، مما يؤدي إلى تكون السحب التي تتحول إلى سحب ممطرة، ثم إلى أمطار تسقط مرة ثانية على الأسطح المائية الحرة واليابسة مما يؤدي إلى ابتلال الأراضي، فإذا زادت معدلات الابتلال عن قدرة التربة على الاحتفاظ بالرطوبة تحرك الفائض رأسياً إلى أسفل ليغذي الخزان الجوفي، فإذا زاد الهطول المطري عن سعة التربة لاستيعاب الارتشاح الرأسي تحركت المياه أفقيا على شكل جريان سطحي يتجه إلى المناطق المنخفضة حتى يعود في النهاية إلى أقرب المسطحات المائية الحرة إليه.

الآثار الناجمة عن السيول:

الأمطار والسيول تبشر بإمداد الآبار الجوفية الناضبة بالمياه وملء خزانات السدود، ولكن قد تتسبب في عدد من الآثار نورد منها ما يلي:

- خسائر في الأرواح.

- تهدم المنازل أو انهيار أجزاء من المباني.
- تهدم الآبار الارتوازية.
- قطع الطرقات الترابية والاسفلتيه وتكسير الكباري والعقبات وامدادت الكهرباء والمياه والتلفون.
- جرف التربة والسواقي وقطعان المواشي وعدد غير محدود من السيارات والممتلكات.
- تدمير كميات كبيرة من المنتجات الزراعية.
- تخريب وإتلاف خطوط إمدادات الكهرباء.
- تدمير جسور ومصبات وقنوات تصريف السيول.

العوامل التي تتحكم في القدرة التدميرية للسيول هي:

- كثافة الهطول المطري والفترة الزمنية التي يستغرقها هذا الهطول.
- نوعية التربة التي يسقط عليها المطر وعمق قطاع التربة.
- درجة كثافة الغطاء النباتي ومدى التعرض للاحتطاب.
- تضاريس المنطقة التي تتعرض للهطول المطري من حيث الاستواء أو الانحدار.
- الظروف المناخية التي تشمل درجة الحرارة والرطوبة وسرعة الرياح.
- النسبة بين مساحة مجمع الأمطار والمساحة التي ينتهي إليها الجريان السطحي كمنطقة صرف.
- قُرب أو بُعد مجمع الأمطار عن منطقة الصرف.
- درجة الاستعداد لحدوث السيل وتعتمد بشكل أساسي على الفترة الزمنية بين الإنذار وهطول المطر.
- الدراية الكافية والوعي لدي الجمهور والأجهزة المنوط بها التصرف في حالة حدوث السيل.

يتضح مما سبق أيضاً أن ظاهرة السيول رغم اعتبارها أحد مسببات الأزمات والكوارث غير أنها قد تكون على خلاف ذلك تماما، لأن المسبب الرئيسي لها هو

الهطول المطري الذي ينتهي إلى كميات من المياه يمكن الاستفادة بها، إلا أن الضرر يكون في السرعة الكبيرة والتي تعطيها القوة التدميرية، فإذا أمكن التحكم في هذه المياه ولجم طاقتها فإنها تشكل مصدراً من مصادر النماء وعنصراً من عناصره.

كما يتضح مما سبق أن ما يحكم ظاهرة السيول مجموعة من العوامل الطبيعية التي لا يستطيع الإنسان التدخل فيها، إلا إن العنصر البشري يستطيع أن يحوّل هذه الظاهرة من السلبية إلى الإيجابية عن طريق دراسة مصادر القوة والضعف والتدخل في الوقت المناسب بالعنصر المناسب الذي يتجنب السلبيات ويستثمر الإيجابيات بالشكل والطريقة المناسبة.

إجراءات الأجهزة الحكومية لمواجهة السيول والفيضانات:

- توجيه إنذار عام لسكان المناطق الوشيكة التعرض لكارثة سيل أو الفيضان لتنفيذ التدابير الاحترازية اللازمة.
- اتخاذ كافة إجراءات المواجهة وتنسيق الجهود بحيث تتناول إنقاذ المحاصرين، وإسعاف المصابين، وإخلاء المناطق المنكوبة والمهددة، وتحويل مجرى السيل من خلال قنوات صناعية يتم حفرها في حينه لهذا الغرض، وتحويط المنشآت بحواجز رملية.. الخ.
- إجراء مسح جوي لاستطلاع المنطقة المتضررة وحجم الضرر والاستعانة بها في عمليات النقل الجوي لفرق الإنقاذ في الأماكن المعزولة والإخلاء الطبي.
- تصريف المياه المتراكمة الناتجة عن السيول والفيضانات وإعادة الوضع الطبيعي للمناطق المتضررة.
- اتخاذ إجراءات الصحة العامة لمنع انتشار الأوبئة.
- إيواء المشردين وتقديم الرعاية الاجتماعية اللائقة لهم.
- اتخاذ إجراءات رفع الأنقاض وإصلاح البنية التحتية لإعادة الوضع الطبيعي للمنطقة المتضررة.
- التقييم المستمر للموقف بالتنسيق مع الجهات ذات العلاقة.

- استعداد كافة الجهات المعنية لمواجهة التوابع المحتملة.

نصائح لساكني الأودية:

- لا تقيم مسكنك في بطون الأودية أو على ضفافها حتى لا تداهمك السيول حينما تمتلئ الأودية بالمياه، وأعرف مدى ارتفاع منزلك أو منشأتك بالنسبة لمجاري المياه.
- استخدم مواد البناء المقاومة والمناسبة لطبيعة أمطار المنطقة.
- تفقد منزلك دائماً وتأكد من مقاومته للأمطار.
- عند سماعك إنذار حدوث سيل في منطقتك عليك أن تكون مستعد للانتقال إلى منطقة آمنة في أي وقت.
- يجب أن تكون لديك خطة مسبقة عما يجب عمله، وإلى أين تتجه في طوارئ السيول.

ماذا تفعل عند حدوث سيول:

- استمع إلى المذياع أو التلفاز للحصول على المعلومات اللازمة والتقارير والإنذار من السلطات المعنية.
- كن مستعداً للخروج من منطقة الخطر الى منطقة الآمان في أي لحظة منذ صدور الإنذار.
- إذا كنت في الطريق راقب الطريق والجسور والأراضي المنخفضة وبطون الأودية.
- أعلم أن صوت الرعد والبرق ينذر بسقوط أمطار غزيرة.
- عند صدور إنذار ضد السيول في منطقة تواجدك:

  - تصرف بسرعة لحماية نفسك واهلك فقد يكون أمامك إلا عدة ثوان.
  - لا تحاول المرور من تيار مائي سيراً على الأقدام إذا كان مستوى الماء فوق ركبتك.

- إذا كنت تقود سيارتك احذر السير في مكان لا تعرف عمق الماء فيه. وإذا تعطلت سيارتك وسط الماء اتركها فوراً واتجه إلى مكان عال لأن الماء المندفع بسرعة قد يجرف السيارة ومن فيها وقد حدثت وفيات عديدة بسبب محاولة تحريك سيارة معطلة.
- كن أكثر حذراً في الليل عندما يصعب التعرف على مخاطر السيول.
- عندما تخرج من منطقة الخطر مباشرة، افتح الراديو أو التلفزيون أو تواصل بالتلفون لتتلقى المزيد من التعليمات حسب الظروف المتغيرة.

ماذا تفعل بعد انتهاء السيول:

- استمع الأخبار عن طريق الراديو والتلفزيون فقد يكون انتهى من منطقتك ولكن مجاري المياه مليئة بطوفان قد يأتيك عما قريب.
- تذكر أن المطر الغزير ولو لفترة قصيرة تتبعها سيول في المناطق الجبلية والمرتفعات فإذا ذهبت إلى منطقة نائية اتبع ما يلي:

- ابتعد عن قنوات المياه الطبيعية والأودية، إذ بعد انتهاء الأمطار تنحدر المياه من المرتفعات بسرعة عالية حاملة معها جذور الأشجار والطين والنفايات والأنقاض.
- لا تقيم خيمتك في مكان منخفض، فقد يباغتك السيل وأنت نائم.
- أعرف مكان الأرض المرتفعة وكيفية الوصول إليها.
- ابتعد عن المناطق المغمورة بالطوفان.
- انتبه عن حدوث علامات تشير إلى زيادة معدلات مثل سقوط المطر أو زيادة سرعة جريان الماء في الوادي أو الارتفاع السريع في منسوب الوادي.
- كن مستعد فوارا للانتقال إلى مكان آمن.

مخاطر واعتبارات تؤخذ بالحسبان:

- لا تكمن الخطورة في السيل بحد ذاته طالما كان تحت السيطرة ويسلك مساراته المعلومة، وإنما يتحول إلى كارثة إذا ما سلك مساراً آخر وخرج عن نطاق السيطرة وبخاصة في حالة وجود تجمعات سكانية أو منشآت تعترض مساره.
- المخاطر الناجمة عن جريان سيول جارفة داخل تجمعات سكانية.
- المخاطر الناجمة عن انهيار السدود.
- الاستعدادات لسيل متوقع، والتنظيم المسبق لعمليات الإخلاء والإيواء.
- قد يصاحب هذه الكارثة طوارئ طبية وقد تتطلب الظروف إخلاء للطوارئ.

المياه الجوفية:

هي عبارة عن مياه موجودة في مسام الصخور الرسوبية تكونت عبر أزمنة مختلفة قد تكون حديثة أو قديمة جدا لملايين السنين. مصدر هذه المياه غالبا الأمطار أو الأنهار الدائمة أو الموسمية أو الجليد الذائب وتتسرب المياه من سطح الأرض إلى داخلها فيما يعرف بالتغذية recharge.

فالمياه الجوفية مصطلح يطلق على الماء الموجود في مسام الصخور وفي ترسيبات المناطق المتشبعة تماما. وبالرغم من أن هذا النوع من المياه لا يستخدم على نطاق واسع مثل الماء المتوفر على سطح الأرض، إلا أن المياه الجوفية تمثل أحد أهم مصادر المياه في المناطق الريفية. وفي العديد من المناطق تشكل المياه الجوفية أكبر مخزون من المياه الصالحة للشرب، بل تعد المصدر الأوحد لمياه الري وللأغراض الصناعية والمحلية. وحتى في المناطق الرطبة، يتم استخراج كم كبير من المياه الجوفية لأغراض عديدة.

وبوجه عام تفضل المياه الجوفية على المياه الموجودة على سطح الأرض لأنها أقل تعرضا للتلوث من جراء الطفيليات المسببة للأمراض، كما أنها توجد على بعد

طفيف تحت سطح الأرض بالإضافة إلى أنها ذات درجة حرارة ثابتة ومتوافرة في العديد من المناطق حتى تلك التي تعرضت لسنين عديدة من الجفاف الشديد.

عملية التسرب تعتمد على نوع التربة الموجودة على سطح الأرض الذي يلامس المياه السطحية (مصدر التغذية) فكلما كانت التربة مفككة وذات فراغات كبيرة ومسامية عالية ساعدت على تسرب أفضل للمياه وبالتالي الحصول على مخزون مياه جوفية جيد بمرور الزمن. وتتم الاستفادة من المياه الجوفية بعدة طرق منها حفر الآبار الجوفية أو عبر الينابيع أو تغذية الأنهار.

المياه الجوفية هي كل المياه التي تقع تحت سطح الأرض وهي المسمى المقابل للمياه الواقعة على سطح الأرض وتسمى المياه السطحية، وتقع المياه الجوفية في منطقتين مختلفتين وهما المنطقة المشبعة بالماء والمنطقة غير المشبعة بالماء.

المنطقة غير المشبعة بالماء تقع مباشرة تحت سطح الأرض في معظم المناطق وتحتوي على المياه والهواء ويكون الضغط بها اقل من الضغط الجوي مما يمنع المياه بتلك المنطقة من الخروج منها إلى أي بئر محفور بها، وهي طبقة مختلفة السمك ويقع تحتها مباشرة المنطقة المشبعة.

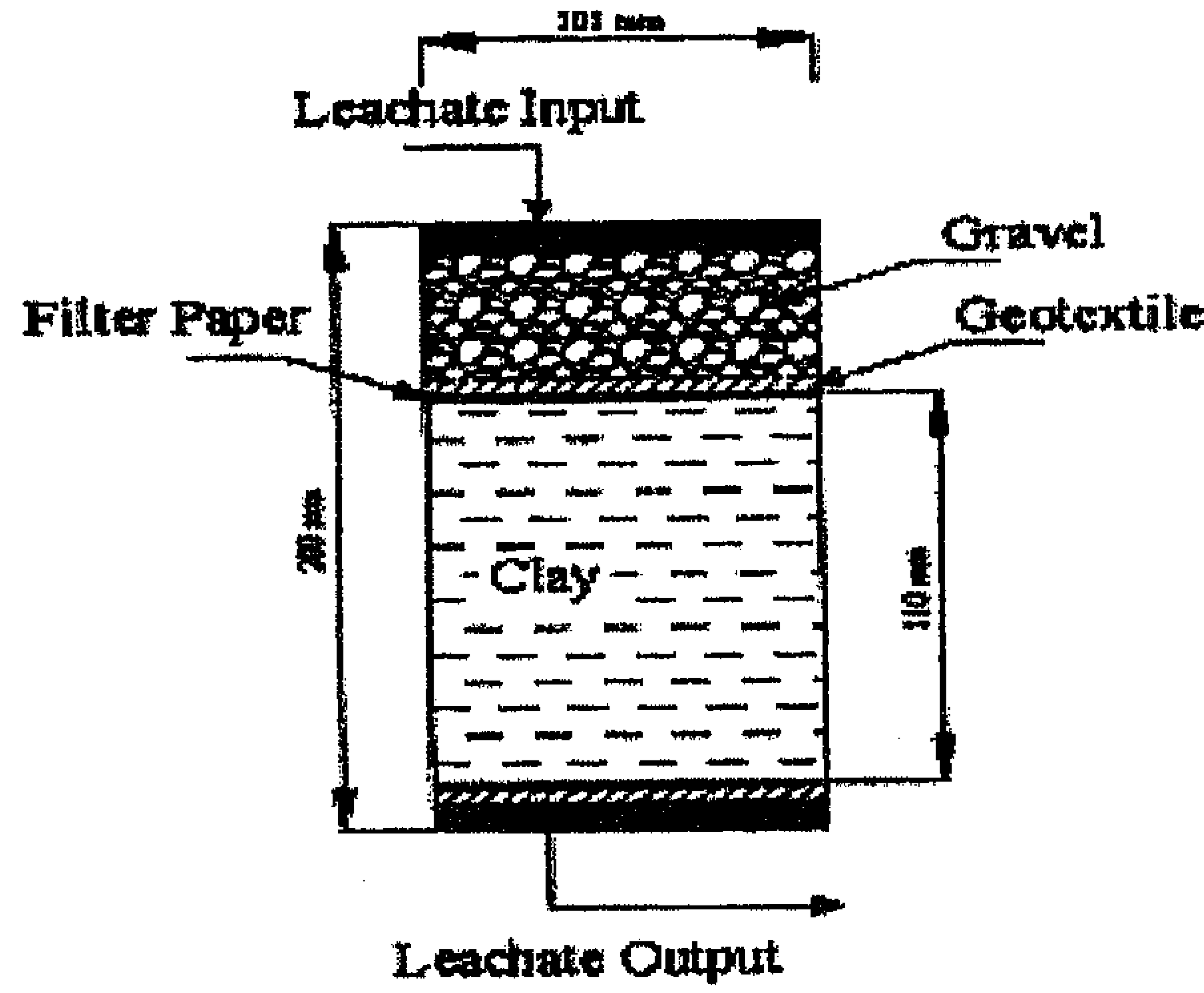
المنطقة المشبعة:

هي طبقة تحتوي على مواد حاملة للمياه وتكون كل الفراغات المتصلة ببعضها مملوءة بالماء ن ويكون الضغط بها أكبر من الضغط الجوي مما يسمح للمياه بالخروج منها إلى البئر أو العيون، تغذية المنطقة المشبعة يتم عبر ترشح المياه من سطح الأرض إلى هذه الطبقة عبر مرورها بالمنطقة غير المشبعة.

قطاع المياه الجوفية:

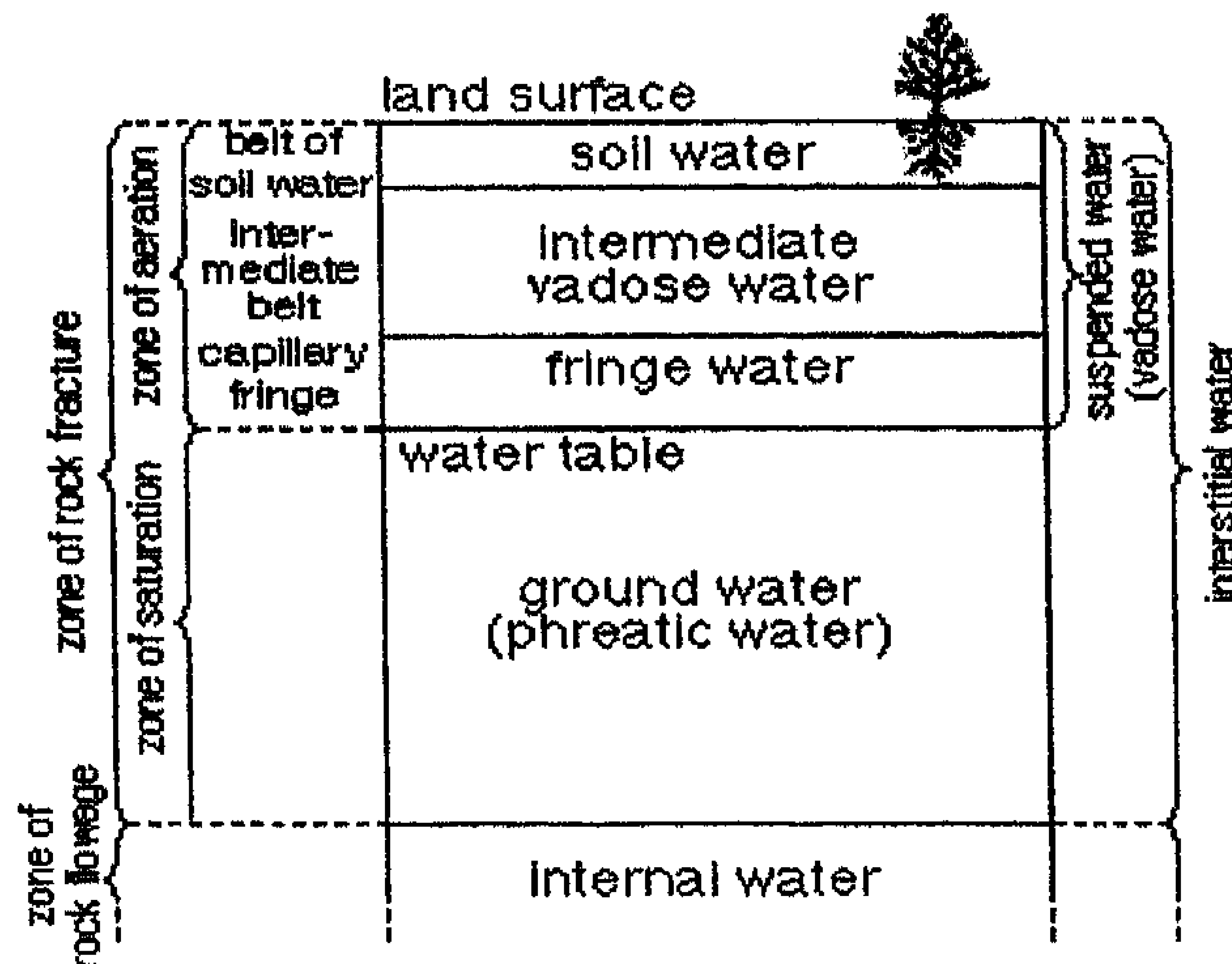
وهي من اعلى الى اسفل:

1. نطاق عدم التشبع او التهوية:



ويقصد بها المنطقة التي يتسرب منها ماء المطر الى نطاق الماء الجوفي وهو نطاق يتخلله الهواء ولايحتوي الا على القليل من الرطوبة.

2. نطاق التشبع المتغير:



وهي المنطقة التي تعلو المياه الجوفية ويوجد بها الماء موسميا نتيجة لزيادة الأمطار وتجف في مواسم الجفاف وقد يوجد بها الماء نتيجة للخاصية الشعرية وسمك هذا النطاق بتغير تبعا لكمية الأمطار.

3. نطاق التشبع الدائم:

وهي المنطقة التي تحتوي دائما على الماء الجوفي حيث يتواجد في مسام الصخور وشقوقه وقد يبلغ عمق هذا النطاق 1000 متر ويحد هذا النطاق من اسفل طبقة صماء ومن اعلى مستوى الماء الجوفي.

منشأ المياه الجوفية:

تتكون معظم المياه الجوفية الضحلة بشكل مباشر من رشح كميات صغيرة من مياه الأمطار والثلوج الذائبة إلى الطبقة التي تلي السطح. أما المياه الجوفية البعيدة الغور فقد تمسكها مسام التربة فتظل راكدة لآلاف بل لملايين السنين.

وبعض هذا النوع من المياه يحتوي على كميات كبيرة من الأملاح المذابة وقد تكون مياه بحر مالحة أمسكتها الصخور المحيطة بها أثناء تكونها منذ قديم الزمان. غير أن الماء المالح البعيد الغور في أغلب البيئات الجيولوجية ينتقل ببطيء ولا يمثل ذلك الماء المحصور عند تكون الصخور. أما في المناطق البركانية فقد تنتج كميات قليلة من المياه الجوفية من كتل الصخور النارية المنصهرة في الجزء الأعمق من الطبقة التي تلي السطح. وحتى في المناطق التي توجد بها عيون ساخنة، تكون كميات المياه التي مصدرها الصخور المنصهرة بوجه عام أقل من نسبة 1٪ من مجموع الماء الساخن المتدفق على السطح.

حركة المياه الجوفية:

يتحدد معدل حركة المياه الجوفية على أساس نفاذية الصخور أو الترسيبات التي تحوي هذه المياه وكذا معدل انحدار مستوى الماء، كما أن معدل

تدفق مياه النهر يعتمد على انحدار مجرى النهر. ويعد معدل حركة المياه الجوفية اقل سرعة من مياه السطح، وتقدر في الغالب ببضعة سنتيمترات قليلة في اليوم. وتعد هذه الحركة البطيئة أحد أهم خصائص ال مياه الجوفية لأن ذلك يعني أنها ستظل موجودة في الأرض ومتوافرة لفترات طويلة نسبيا بحيث يمكن للإنسان استخدامها قبل أن تأخذ طريقها إلى البحر. فإذا توافرت الطبقات الحافظة للماء، فقد يتحرك الماء الجوفي من مصدره لمسافة تقدر بمئات الكيلو مترات.

وقد تفوق العرب في العصور التاريخية الأولى في معرفة استنباط الماء من باطن الأرض بواسطة بعض الأمارات الدالة على وجوده، فيعرف بعده وقربه بشم التراب، أو برائحة النباتات فيه، أو بحركة حيوان مخصوص، وسمي هذا عندهم "بعلم الريافة"، وهو من فروع الفراسة من جهة التعرف على مكامن في باطن الأرض، ومن فروع الهندسة من جهة الحفر وإخراجه إلى وجه الأرض. ويقال لمن يقوم بالحفر واستخراج الماء"القناء".

وتطورت هذه المعرفة الفطرية عند العرب، إبان عصر النهضة العلمية الإسلامية، وأصبحت تقنية مدونة بأساسيها النظري والتطبيقي، وما يتطلبه ذلك من اختراع موازين وأجهزة لقياس ارتفاعات الأرض وتحديد مناسيب المياه. ويعد كتاب إنباط المياه الخفية الذي صنفه أبو بكر محمد بن الحاسب الكرجي بين عام 406هـ- 1016م / و420هـ- 1029م نموذجا لما وصلت إليه هذه التقنية.

وينبئ الكتاب عن الخبرة الفنية الهندسية التي اكتسبها المؤلف، والمعارف النظرية التي حصلها، ففي وصف شكل البربخ وصناعته وعملية إجراء الماء فيه، يقول: "شكل البربخ أن يكون أحد رأسيه أوسع من الآخر ليدخل الرأس الأضيق في جوف الأوسع عند نصبها قدر أصبعين (حوالي أربعة سنتيمترات)، ويكون طول البربخ أربعة أمثال قطر دائرة رأسه الأوسع، بل كلما كان أطول كان أجود أن يتماسك طينه ولم يفسد، ويكون رأسه الأضيق أرق خزفا من الأوسع، وتكون مستقيمة الطول، متخذة من طين حر عذب، مطبوخة طبخا تاما، والطين الحر

المخلص من الرمل والحصى يخالط بالماء كان أبقى...، أما نصب البرابخ: أن يحفر في الأرض موضعها مثل ساقية، يكون قرارها إذا مد عليه خيط لم يوجد في قرارها اعوجاج من صعود ونزول، ويكون مخرج الماء منها أسفل من مكان الماء فيها بأي قدر أمكن أن ينزل عنه، ويبتدأ بموضعها من مكان مخرج الماء منها، على أن يدخل الماء فيها من أوسع بابيه ويخرج من أضيقها. ويطلى الرأس الأضيق قدر أصبعين بالنورة التي أصف عجنها من بعد، ويدخل في جوف الذي يليه، ويطلى بعد ذلك الوصل خارجا بالنورة المذكورة".

ويضيف أبو بكر الكرجي: "ويترك في كل مائة ذراع (حوالي 55 مترا) إلى أجوافها متنفس لئلا تختنق الريح فيها فتشققها، فإذا فرغ من ذلك تركت ثلاثة أيام أو أكثر، ثم يرسل الماء فيها على رفق، وإن طلي داخلها قبل نصبها بالشحم المذاب أو الدهن كانت أحفظ للماء، فإذا انطبقت في موضعها على ما وصفت، طم حواليها وظهورها بطين حر حتى لا يبقى في أسافلها موضع خال منه".

تنمية المياه الجوفية:

إن غالب المياه الجوفية التي نستخدمها الآن مصدرها الآبار، ومنها ما يكون مصدرها العيون وأنفاق التجميع الأفقية. وأول مراحل تنمية مخزون المياه الجوفية هو معرفة الآبار والعيون الموجودة وعن طريق الدراسات الجيولوجية والجيوفيزيائية، يتم تقدير موارد المياه الجوفية المتوفرة في المنطقة. ثم تجرى بعد ذلك اختبارات من خلال التنقيب للتأكد من مدى صحة ودقة البيانات التي تم جمعها، ثم تتم عمليات ضخ للآبار الموجودة حاليا والآبار الحديثة الاكتشاف لتحديد كم المخزون وخصائص انتقال الماء في مواد الطبقة الأرضية التي تلي السطح. وكانت هذه النقطة في الماضي هي نهاية المطاف التي يتم بعدها التنقيب عن الآبار تمهيدا للخطوة النهائية المتمثلة في إنتاج المياه الجوفية. وقد تعاظم الاتجاه في الآونة الأخيرة لتصميم نماذج رياضية تعبر عن الوضع المستقبلي لمخزون المياه الجوفية يمكن بعد ذلك استخدام هذه النماذج في التعامل مع موارد المياه الجوفية.

ويعكف علماء الزراعة على تقييم تقنيات ري جديدة وتصميم نماذج تتعلق بالدراسات الخاصة بجودة المياه الجوفية. هذه الدراسات سيكون من شأنها المساعدة على ضمان الاستغلال الأمثل للمياه الجوفية التي تعد أحد المصادر الهامة.

أصل المياه الجوفية:

يعد أصل أو منشأ المياه الجوفية مثار جدل بين العديد من الهيدرولوجيين بحيث طرحت العديد من الافتراضات أو النظريات التي تحاول تفسير منشأ المياه الجوفية وسنستعرض هنا أهم النظريات والانتقادات التي وجهت إليها:

1. نظرية التسرب:

طرحت هذه النظرية بشكلها العلمي من قبل العالمين الفرنسيين بيرولت وماريوت بحيث يعود منشأ المياه الجوفية إلى رشح وتسرب مياه التهطال إلى داخل الأرض عبر التشكيلات النفوذه، كما يصل قسم من المياه الجارية السطحية، ومن المياه المتوضعه في الخزانات السطحية بواسطة النز، ويعتمد ذلك الجزء المتسرب على رطوبة التربة والصخور الواقعة فوق مستوى المياه الجوفية، كما يعتمد على كمية التهطال وزمنه ونموذجه وغزارته وديمومته بالاضافة لصفاته الفيزيائية بعد تفاعله مع سطح الأرض (النقاوة، درجة العكر، اللزوجه، الحرارة) كما تلعب العوامل الطبوغرافية والجيولوجية والبيديولوجية دوراً مهماً في تحديد نسبة الماء المتسرب من الهطول والمياه السطحية، فعلى سبيل المثال تعمل درجة الميل والانحدار والغطاء الترب وطبيعة السطح والسعات الحقلية للأترية دوراً مهماً في عمليات التسرب والرشح والنز.

الانتقادات:

تعرضت هذه النظرية للعديد من الانتقادات، أهمها الانتقاد الذي يقول أن الأوضاع داخل القشرة الأرضية لا تسمح بغور كميات كبيرة من الماء، وإلا لما رأينا

استمرارية جريان الأنهار من منابعها إلى مصباتها قاطعة آلالاف الكيلومترات، ولما رأينا بقاء البحيرات وخزانات التجميع خلف السدود. كذلك أثبتت الدراسات وجود كميات كبيرة من المياه الجوفية في المناطق الجافة والصحراوية ولا يمكن تفسير منشأها بالتسرب من مياه التهطال، لان هذه المناطق تتصف بمعدلات هطول منخفضة جداً، ومعدلات تبخر عالية جداً. وعلى الرغم من كل الانتقادات، يرى بعضهم أن معظم المياه الجوفية العذبة، واستمرارية تغذيتها يمكن تفسيره بهذه النظرية.

2. نظرية التكاثف:

يعدّ أرسطو حسب رأي بعضهم من نادى بهذه النظرية حيث طرح في القرن 4 قبل الميلاد أفكاراً جديدة تتلخص بدخول الهواء إلى مسامات التربة والصخور وتكاثفه بما يحتوي هناك، وفي أواخر القرن الماضي طرح العالم الهيدرولوجي الألماني فولجير أفكارا جديدة تتلخص بأن المياه الجوفية تتشكل نتيجة تسرب الهواء الجوي إلى الصخور، حيث تتكاثف أبخرة الماء الموجوده فيه ضمن المسامات الصخرية الباردة وتتحول إلى ماء سائل.

الانتقادات:

تعرضت النظرية لانتقادات عديدة، حيث يشترط لتكاثف بخار الماء داخل صخور القشرة الأرضية وجود صخور باردة وحرارات متدنية ورطوبة عالية، وقد أغفل فولجير الحرارة الكامنه المنطلقة عن تكاثف بخار الماء (540 حريرة /1غ) التي تؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة وابتعادها عن درجة التكاثف وربما تؤدي لتبخر المياه الأولية المتكاثفه من جديد، أو منع تكاثف المياه على الشكل الذي يقوله. إن تشكل كميات كبيره من المياه الجوفية وفق هذه النظرية يقتضي جولاناً كبيراً لتيارات هوائية تحتوي نسبة عالية جدا من بخار الماء، فيما بين الصخور والجو.

3. نظرية المياه العذراء أو الماغماتيه:

اقترح هذه النظريه العالم النمساوي زيوس وتبعاً لهذه النظرية، فإن الصهاره أو الماغما الموجوده في باطن الأرض تكون مشبعه بالمهل المنصهر والغازات، وبفعل الحركات التكتونيه يتغير موضع بعض هذه المواد وتتغير ظروف الضغط والحرارة وتنطلق الغازات والأبخرة باتجاه السطح حيث تنخفض درجة حرارتها لاسيما بعد وصولها إلى القشرة الأرضية. ويعد غاز الأوطسجين وا الهيدروجين ضمن الغازات الموجوده حيث ينجم اتحادهما بخار الماء، وعندما تكون الظروف الحرارية مناسبة تتكاثف أبخرة مشكلة المياه الصهيرية أو العذراء.

ولتمييز المياه المتشكلة عن تكاثف أبخرة الماء الموجوده في الهواء الجوي الداخل جسم الأرض عن الماء المتشكل من تكاثف أبخرة الماء الصاعده من الماغما، اقترح زيوس بتسمية الأولى بمياه الفادوز Vadose.

4. نظرية الأصل أو النظرية الترسيبية:

تبحث هذه النظرية في منشأ المياه الجوفية العميقة المالحة أو العذبة التي تتواجد عند أعماق كبيرة، حيث تصادف في الأبار المحدثة بهدف التنقيب عن النفط، يرى بعضهم أن منشأ هذه المياه هو مياه بحرية مالحة، حيث تتوضع الرسوبات والطمي الحاوية على نسبة عالية من الماء في الأحواض البحرية. تتعرض هذه الرسوبات للعديد من التحولات نتيجة توضع رسوبات حديثة فوقها باستمرار، وما يرافق ذلك من تغير ظروف الضغط والحرارة وعمليات الهبوط التكتوني، ومع تحول هذه الرسوبات إلى صخور رسوبية ينتقل قسك كبير من المياه الجوفية المالحة إلى مواقع ذات نفوذية أكبر، وأثناء ذلك تتغير الكثير من الصفات الكيميائية لهذه المياه المالحة، وتلتقي مياهاً أخرى ذات مواصفات متباينة، وتتوضع في النهاية مياه ذات صفات كيميائية معينة، غالباً ما تكون مالحة، وقد تكون عذبه، حيث يشير بعض المهتمين إلى أن تحول المياه المالحة إلى مياه عذبه يعد أمراً منتظماً على امتداد مختلف العصور الجيولوجية.

اذن يشير الرأي السابق إلى تشكل المياه المالحة أو العذبه مع بداية توضع الرسوبات في الأحواض البحرية، وأثناء التحولات المرافقة لها أثناء تطورها حتى تشكل الصخور الرسوبية. بينما يرى الفريق الأخر ضرورة دراسة التاريخ الجيولوجي القديم لتفسير منشأ هذه المياه وبخاصة الدورات التكتونية المميزه التي تعرضت لها الأرض (دورات ريفي، الكاليدونية، الهيرسينية، الألبية) ومدة كل دورة تقدر بمليار عام وفي كل دورة تتعاقب الظروف البحرية والقارية (من طغيان بحري إلى أخر) وأثناء طغيان البحر ترشح المياه المالحه ضمن الصخور إلى الطبقات العميقة، وأثناء رشحها تتعرض للعديد من التبدلات في صفاتها الكيميائية وبعد انحسار مياه البحر ترشح ثانية لمياه المطر والثلوج الذائبة، وتلتقي المياه العذبه مع المياه المالحة وتتعدل صفات المياه الجديدة.

هناك رأي أخر يقول بالمنشأ القاري للمياه المالحة، حيث ترشح المياه الجوية داخل التربة والصخور، وأثناء انتقالها يذيب الماء الراشح الأملاح من الصخور الحاوية عليه، تلك التي يرشح الماء ضمنها، أو يتجمع فوقها، أو يتحرك بتماس معها، ويتعلق ذلك ببنية وتركيب الصخور بالمناخ السائد.

5. النظرية الانضغاطية:

تتلخص هذه النظرية بتحرر جزيئات الماء التي كانت ممسوطة بقوة من قبل ذرات المعادن عند انضغاطها بتغير ظروف الضغط والحرارة، ويعتمد حجم المياه المتشكلة على سماكة الطبقات التي تضم الصخور الحاوية على جزيئات الماء. تعد ذرات الغضار من أكثر الذرات تمسكاً بالماء ويصل حجم الماء في صخور المونتموريوليت الغضارية إلى 25٪ ونتيجة لزيادة الضغط والحرارة تتغير مسامية الطين وتتحرر جزيئات الماء، كما يحتوي الجص تقريباً على 21٪ من حجمه ماء، والميرابيليت نحو 60٪ والبوكسيت نحو 26٪، وقد وضعت العديد من العلاقات الرياضية لتبيان شدة التبادل المائي الانضغاطي تعتمد على الحجم وتغير المسامية مع الزمن.

تشكيلات طبقات المياه الجوفية:

بشكل عام تعتبر الطبقة الجوفية وحدة جيولوجية التي يمكن أن تخزن وتنقل المياه. تقسم الطبقات الجوفية عموما إلى أربعة أصناف اعتماد على البيئة الجيولوجية التي تشكلت فيها: غير محصور(حرة)، محصورة، نصف محصور، ومعلقة .

- **الطبقات الجوفية غير محصورة Unconfined aquifers:**

تحتوي الطبقات الجوفية غير محصورة على سطح للمياه معرض للضغط الجوي ويمثل الحد الأعلى للطبقة الذي يرتفع وينخفض تبعا للتغذية (الرشح) والسحب (أبار الضخ مثلا).

- **الطبقات الجوفية المحصورة Confined aquifers:**

وتسمى أيضا ارتوازية، تتشكل هذه الطبقات الجوفية عندما تكون المياه الجوفيّة محصورة بين طبقتين ذات نفاذية منخفضة. في الطبقات الجوفية المحصورة تكون المياه الجوفيّة تحت ضغط ويرتفع منسوب المياه في بئر فوق حدّ الأعلى للطبقة الجوفية.

عندما يرتفع منسوب المياه في بئر فوق منسوب سطح الأرض يسمى بئر ارتوازي. يتم رشح المياه إلى هذه الطبقة من الأماكن التي تكون فيها الطبقة العلوية التي تغطي طبقة الحاملة للمياه تحتوي على تشققات أو كسور.

- **الطبقات الجوفية نصف محصورة Semi– confined aquifers:**

تتشكل هذه الطبقات عندما تكون الطبقة الحاملة للمياه محصورة وتحتوي على طبقة نصف نفوذه إما من الأعلى أو الأسفل.عندما يتم الضخ من هذه

الطبقات يجري الماء بشكل أفقي عبر الطبقة الحاملة للمياه وبشكل عمودي عبر الطبقة نصف نفوذه.

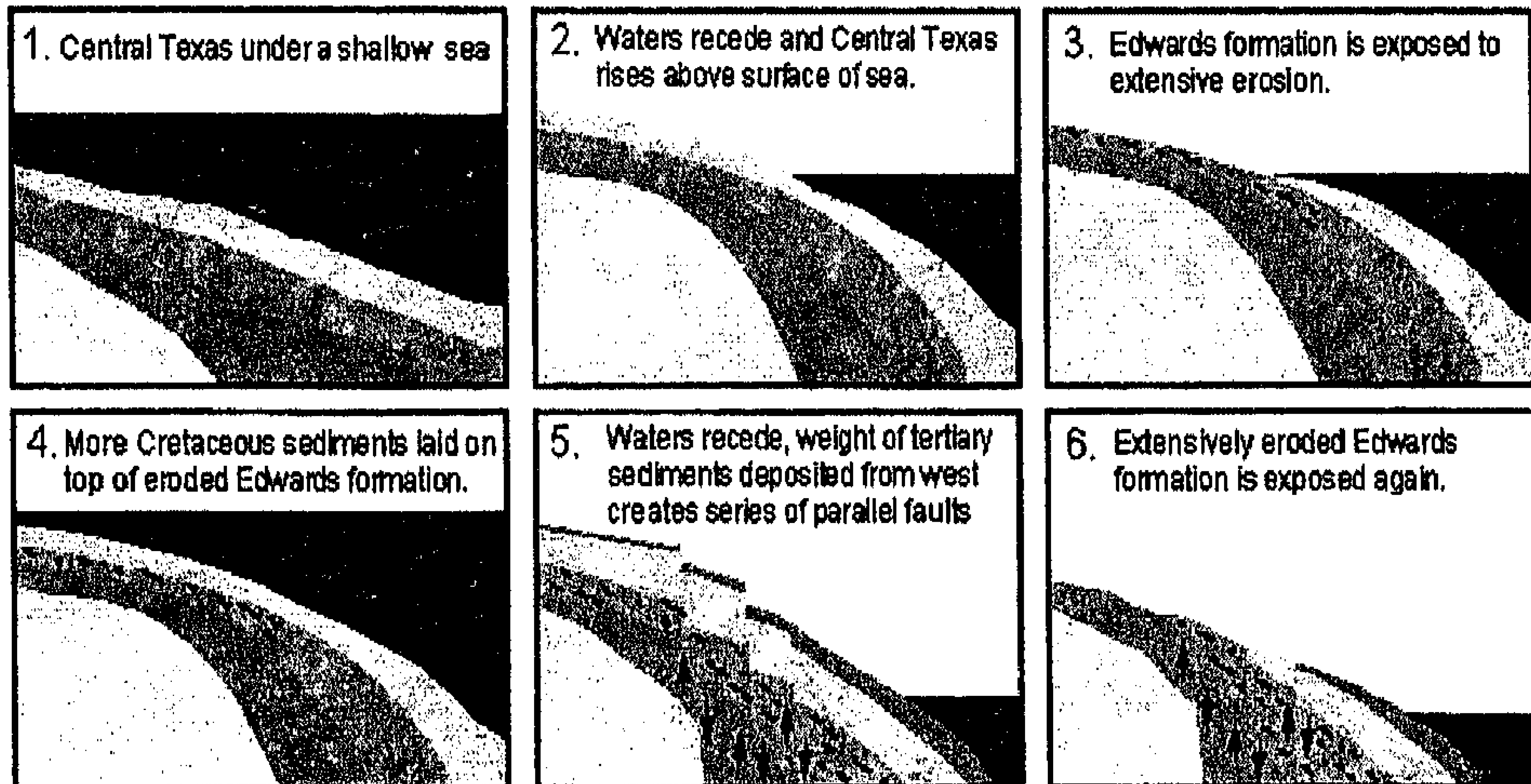
- الطبقات الجوفية المعلقة Perched aquifers:

تعتبر نوع خاصّ من الطبقة الجوفية غير محصورة،تقع هذه الطبقة فوق السطح الحر للمياه الجوفية بسبب تجمع المياه فوق طبقة كتيمة ذات انتشار أفقي محدود، تعطي الآبار التي تضخ المياه من هذه الطبقة كمية قليلة من المياه وأحيانا تكون مؤقتة.

انواع الخزانات الجوفية:

هناك اربع انواع من الخزانات الجوفية في الطبيعة وهي:

1. الخزان الجوفي الحر:

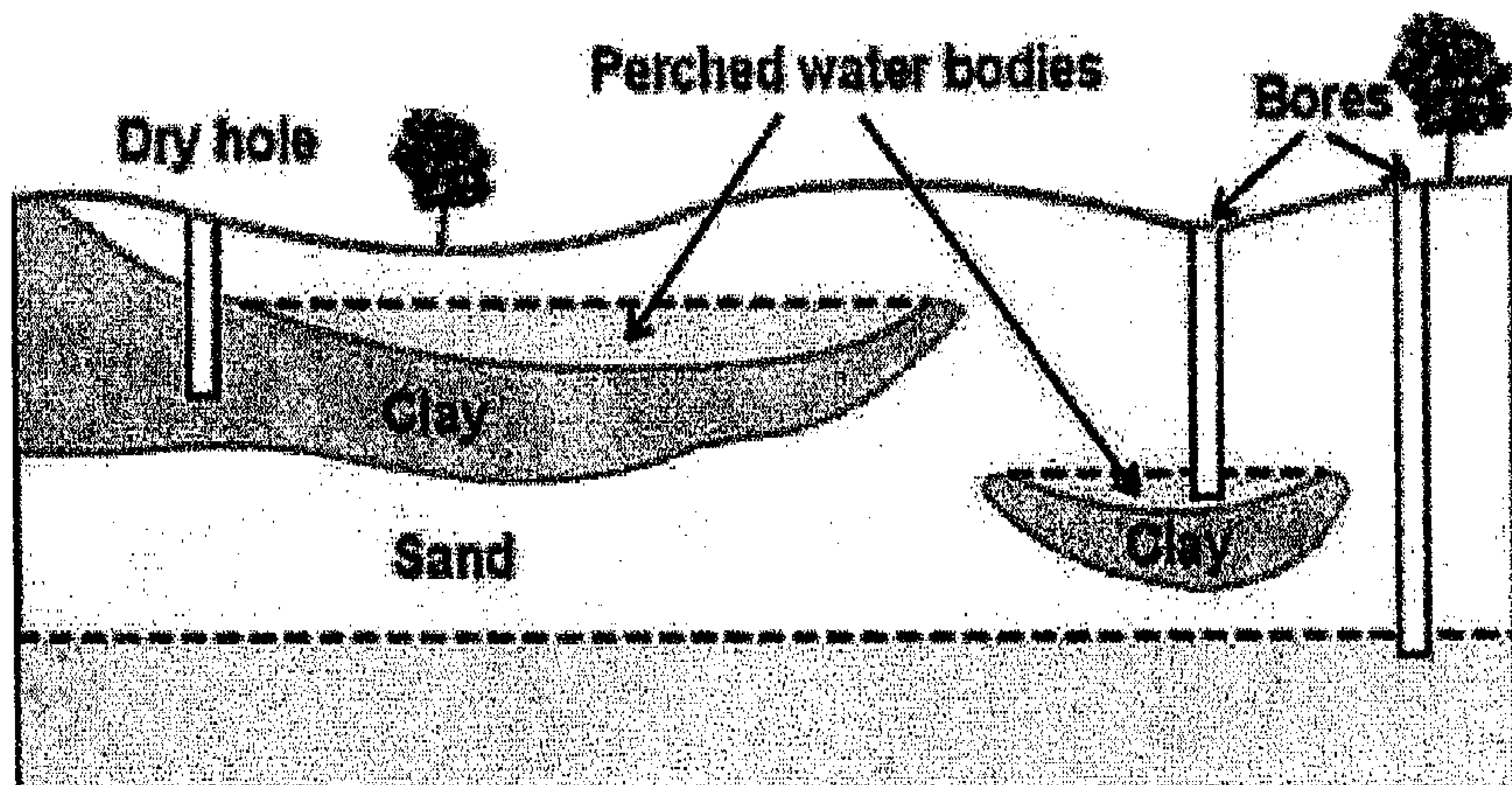


ويتواجد في المناطق ذات الأمطار الغزيرة وتكون معظم الصخور التي تعلوه ذات نفاذية عالية وتسفله الطبقة الصماء.

2. الخزان الجوفي المحصور:

وهو الخزان المحصور بين طبقتين صماوتين غير منفذتين من الأعلى والأسفل.

3. الخزان الجوفي الجاثم:



وهو خزان اضافي يتواجد في مستوى اعلى من مستوى الماء الجوفي أي في نطاق التشبع المتغير وتكون كميته قليلة وتكون بصورة استثنائية بسبب اعتراض طبقة صماء له .

4. الخزان الجوفي الحفري:

وهو الخزان الجوفي غير المتجدد ويقع عادة على اعماق كبيرة جدا وهي مياه تراكمت منذ زمن بعيد تحت ظروف مختلفة عن الظروف السائدة الآن والمياه المستهلكة لايمكن تعويضها.

منافذ المياه الجوفية:

- الخنادق.
- الأبار.
- الينابيع.
- النافورات.

أولا: الخنادق

وهي عبارة عن حفر صناعيه عميقه تتسرب اليها المياه الجوفية من خلال الجوانب فتصبح على شكل بحيرة يتم سحب المياه وضخها في مواسير الى النطاقات الزراعية.

ثانياً: الأبار

وهي عبارة عن فتحات دائرية في سطح الأرض تصل الى المستوى الماء الجوفي وتنقسم الابار الى:

- **الأبار الأرتوازية:**

وسميت بهذا الأسم نسبة الى ارتواي في شمال شرق فرنسا وهو عبارة عن حفرة في وسط حوض ارتوازي ويكون ضغط الماء كافيا لدفع إلماء ليصعد من السطح.

- **البئر شبه الأرتوازي:**

وهو عندما يدفع الماء قرب السطح.

- **البئر العادي:**

وهو يحفر في الأرض لمستوى الماء الجوفي من الصخور الى البئر وتستمر بصفه مستديمة ام الأبار التي تحفر اقل من هذا المنسوب فأنها تجف.

ثالثا: الينابيع

وهي عبارة عن فتحات في القشرة الأرضية تتدفق منها المياه من باطن الأرض الى السطح بصورة مستمرة ومركزة اوالمكان الذي تخرج منه المياه الجوفية لسطح الأرض.

الينبوع هو الماء المتدفق نتيجة امتلاء أحد المستودعات المائية الأرضية إلى النقطة التي تتدفق فيها المياه إلى سطح الأرض.

- **أقسام الينابيع من حيث الحجم:**

وتتراوح الينابيع من ينابيع صغيرة الحجم، وهي التي تتدفق مباشرة بعد هطول أمطار غزيرة، إلى ينابيع كبيرة، تتدفق منها مئات الملايين من الجالونات يومياً.

يمكن أن تتكون الينابيع داخل أي نوع من أنواع الصخور، غير أنها غالباً ما توجد في الحجر الجيري، وصخور الدولوميت، التي يمكن أن تتصدع بسهولة وتتحلل بمياه الأمطار لتصبح حمضية. وعندما تتحلل وتتصدع هذه الصخور يمكن أن تتشكل الفراغات التي تسمح بتدفق الماء. وإذا كان تدفق الماء أفقياً، فإنه يمكن أن تصل إلى سطح الأرض وبالتالي يتشكل الينبوع.

- ماء الينبوع ليس دائماً نقياً:

عادة ما تكون مياه الينابيع نقية. ومع ذلك فإن بعضاً منها قد يكون بلون الشاي، ومثل هذا الينبوع موجود في ولاية كلورادو بالولايات المتحدة الأمريكية. والسبب في اللون الأحمر لمياه الينابيع هو مرور المياه الجوفية وملامستها مواد معدنية موجودة تحت الأرض، مثل الحديد. ويمكن أن يشير خروج المياه الملونة بشكل كبير من الينابيع إلى تدفق المياه بسرعة من خلال قنوات كبيرة داخل المستودعات المائية الأرضية دون أن تتمكن الصخور من تنقيتها لإزالة اللون.

الينابيع الحرارية:

الينابيع الحرارية عبارة عن ينابيع عادية، ولكن الماء فيها عادة ما يكون دافئاً، وفي بعض الأماكن حاراً، مثل الينابيع التي تخرج فقاعات الوحل في حديقة يلوستون الوطنية، في وايومينج بالولايات المتحدة الأمريكية. وتحدث العديد من الينابيع الحرارية في المناطق التي شهدت مؤخراً نشاطاً بركانياً، حيث تسخن المياه من خلال ملامستها الصخور الحارة الموجودة على مسافات بعيدة تحت سطح الأرض. ومع ازدياد العمق فإن المياه تصبح أكثر دفئاً، وإذا؟ تعمقت تحت الأرض فإنها تصل إلى فجوة كبيرة تشكل مساراً إلى سطح الأرض يمكن أن يؤدي إلى حدوث ينبوع حراري. وتحدث الينابيع الحرارية في كل أنحاء العالم، ويمكن أن تتعايش مع الكتل الجليدية كما هو واضح في هذه الصورة.

وتنقسم الينابيع الى:

- ينابيع الطباقات.
- ينابيع الوديان.
- ينابيع الفوالق.
- ينابيع قنوات الأذابه.
- ينابيع الماء الجوفي.

- **ينابيع الطباقات:**

ويتسبب في وجودها وجود طبقه منفذه تعلوها طبقه غير منفذه حيث تمنع الطبقه الغير منفذه تسرب الماء لأسفل.

- **ينابيع لوديان:**

ويساعد ظهورها انخفاض مجاري الأوديه عن المناطق المحيطه بها.

- **ينابيع الفوالق:**

وتظهر بسبب العامل البنائي حيث توجد حلقه منفذة للمياه على جانبي الفالق وتكون حاملة للمياه الجوفية.

- **ينابيع قنوات الأذابه:**

حيث تساعد حركة المياه بين الفواصل على توسيع حفر الأذابه فيجد الماء طريقه من بين الصخور ليصعد الى السطح وتضهر على هيئة ينابيع.

- **ينابيع ارتوازية:**

وهي من النوع النادر وينتج عن وجودها وجود مياه ارضية في طبقة حاملة للمياه واقعة بين طبقتين صماء.

رابعا: النافورات الحارة

وهي تشبه الينابيع في طريقة تكوينها ولكنها تختلف عنها في غزارة تدفق المياه الجوفية من خلال قصبة النافورة واندفاعها الى عدة امتار بتأثير عامل الضغط الهيدروستاتيكي.

أثر المياه الجوفية في تشكيل سطح الأرض:

عندما تسقط الأمطار تسلك سبيلها عبر الروافد والأنهار والمجاري المائية ليذهب في نهاية المطاف إلى البحار والمحيطات، غير أن جزءاً منها يتسرب ويغوص في صخور الأرض عبر الشقوق والفواصل التى قد توجد عادة في الصخور. وإذا دققنا البحث في أمر هذا الماء الجوي Meteoric water الذي انتهى به المطاف إلى باطن الصخور الذي يطلق عليه في هذه الحالة الماء الباطني أو الماء الجوفي Underground Water.

والذي قد يظهر على السطح مرة أخرى على هيئة ينابيع أو عيون. إذا دققنا البحث سوف نجد أن الماء الجوفي قد صار بعد رحلته ذا نشاط كيميائي. والسبب في هذا النشاط الكيميائي يرجع إلى أن الماء الجوي قد أذاب بعضاً من غاز ثاني أكسيد الكربون الموجود بطبيعة الحال في الجو. فمن المعروف أن غاز ثاني أكسيد الكربون قابل للاتحاد بالماء إذ أنهما يكونان مع وجود الأكسجين حمضاً ضعيفاً هو حمض الكربونيك.

هذا بالنسبة للماء الجوي، أما فيما يتعلق بالأحجار الجيرية فهي إحدى أنواع الصخور الرسوبية التي تتميز بهيئتها الطبقية، بمعنى أن الصخور الرسوبية بوجه عام والأحجار الجيرية بوجه خاص تتكون على هيئة طبقات، حيث تكونت وترسبت تلك الطبقات تباعا طبقة إثر طبقة عبر العصور الجيولوجية. وتبعاً لهذا الترسيب المتتالي نشأ نوع من الحدود الفاصلة بين الطبقات يطلق عليه مستويات التطبق أو سطوح الانفصال Bedding planes ومن الملاحظ على الأحجار الجيرية بالإضافة إلى وجود سطوح الانفصال، كثرة انتشار الفواصل والشقوق الرأسية على طبقات الأحجار الجيرية.

وإذا كانت الصخور – أيا كان نوعها – تتألف من أكثر من معدن ، فإن الأحجار الجيرية تتميز بكونها مؤلفة من معدن واحد، حيث يطلق عليها ؛ صخور وحيدة المعدن Mono–mineralic Rocks؛ لأنها تحتوى على معدن رئيسي واحد،

هو معدن الكالسيت Calcite الذي يتكون – كيميائيا – من كربونات الكالسيوم، وهذه من المركبات الكيميائية التى يسهل على الأحماض حتى الضعيفة منها التفاعل معها وإذابتها.

– الكارست Karst:

تعد الصخور الجيرية، صخورا مثالية يتضح فيها تأثير المياه الجوفية بشكل ملموس ظاهر سواء أكان هذا التأثير على السطح أو ما تحت السطح مما ينتج عنه عدد من الأشكال التى ترتبط إرتباطا وثيقا بتأثير المياه الجوفية وما يتبع هذا التأثير من عمليات الإذابة وتوسيع الشقوق والفواصل والكسور التي توجد عادة في الصخور الجيرية.

وعلى الرغم من وجود هذه الأشكال في مناطق كثيرة في العالم إلا أن منطقة الكارست Karst في غرب يوغوسلافيا هي من أشهر المناطق التى يتضح فيها تأثير المياه الجوفية على الصخور الجيرية حتى أن كلمة كارست أصبحت مصطلحا علميا على هذا التأثير بمعنى أن الكارست هي من الظاهرات الجيومورفولوجية الناتجة من تأثير المياه الجوفية على الصخور الجيرية في المناطق المطيرة:

وفيما يلي أهم ظاهرات الكارست:

1. الكهوف:

إن الماء الجوفي المحمل بحمض الكربونيك قادر على إذابة الأحجار الجيرية باعتبار أن المكون الرئيسي لها هو كربونات الكالسيوم. وحين يتفاعل الأول مع الأخير فإن الأخير يتحول إلى بيكربونات الكالسيوم وهو من المواد القابلة للذوبان في الماء.

وهذه المياه حين تتسرب من خلال الشقوق والفواصل الرأسية الموجودة في طبقات الأحجار الجيرية فإنها تحول الكربونات إلى بيكربونات تذوب في الماء وسرعان ما تأخذ هذه المادة الجديدة –البيكربونات الذائبة– طريقها مع سريان المياه الباطنية خلال سطوح الانفصال تاركة وراءها فراغاً ما يلبث أن يزيد حجمه قدراً واتساعاً كلما توالى وأستمر تأثير المياه الباطنية المحملة بحمض الكربونيك على الأحجار الجيرية. وينتج عن هذا التأثير – عبر الزمن الجيولوجي – تكون الكهوف والمغارات التي تتفاوت أحجامها حسب معدل تأثير حمض الكربونيك زيادةً ونقصاناً وحسب مستوى المياه الباطنية وحسب تركيز الحمض نفسه، وغير ذلك من العوامل التي تؤثر سلباً أو إيجاباً في عملية ذوبان الصخور الجيرية.

2. **الصواعد والهوابط:**

وبعد تمام تكون الكهف وفي أثناء سريان المياه الباطنية الحاملة لحمض الكربونيك قد يحدث أن ترشح أو تنز نقطة أو بضع نقاط من هذه المياه من سقف الكهف. وقد تظل هذه النقطة أو تلك النقاط معلقة في السقف فترة تقصر أو تطول حتى تجف.

أي أن بيكربونات الكالسيوم الذائبة تتحول بالتبخير إلى كربونات كالسيوم التي لا تذوب في الماء. ويرجع السبب في هذا التحول إلى تطاير غاز ثاني أكسيد الكربون الذي كان بالإضافة إلى الماء سبباً في تكون البيكربونات الذائبة.

وعند ترسب الكربونات على سقف الكهف تكون في البداية أشبه بالهباءة التي لا تكاد ترى.

وتسلك النقاط التالية نفس المسلك السابق من الرشح ثم الجفاف الناتج عن التبخير ثم الترسب على سقف الكهف وهكذا دواليك وعبر آلاف أو ملايين السنين تزداد كمية كربونات الكالسيوم شيئاً فشيئاً على شكل أعمدة مدلاة من سقف الكهف هابطة نحو القاع وهي تلك الأعمدة المسماه بالهوابط Stalactit.

وفي كثير من الأحيان يحدث أن هذه النقاط قد تكون نقاطا ثقيلة لا تقوى – لثقلها – على التعلق بسقف الكهف، فتسقط على القاع ليسرى عليها ما سرى على النقاط المعلقة بالسقف من حيث الجفاف الناتج عن التبخير الذي يؤدى إلى ترسب كربونات الكالسيوم. ويتوالي تساقط مثل هذه النقاط على قاع الكهف وترسب محتواها من الكربونات يرتفع عمود من أرضية الكهف يتلمس طريقه إلى أعلى صاعدا في اتجاه السقف مكونا الصواعد Stalagmites.

3. الأسطح الجيرية المضرسة:

وهيى أسطح الطبقات الجيرية التى تظهر فيها الثقوب والحزوز الغائرة والأسطح المهلهلة المشرشرة الناتجة من عدم انتظام عملية الإذابة للمياه الحامضية. ويطلق على هذه الظاهرة أسماء محلية فهي البوجاز Bogaz في يوغوسلافيا والكارن Karren في المانيا واللابية Lapies في فرنسا.

4. الحفر الغائرة وبالوعات الإذابة:

تعتبر الحفر الوعائية Sink Holes أو بالوعات الإذابة Dolines من أكثر ظاهرات الكارست انتشاراً في العالم وهى تنشأ نتيجة لتسرب المياه الحامضية من خلال الفواصل وإذابتها لمكونات الصخر.

ومن أهم أشكال هذه الحفر:

أ) بالوعات الإذابة Solution Sink Holes :

ويتكون هذا النمط من البالوعات نتيجة لعملية الإذابة على سطح الأرض وتكوين بعض الحفر الدائرية التى تتسع شيئاً فشيئاً مع استمرار عملية الذوبان وقد تتلاحم هذه الحفر مع بعضها البعض مكونة منخفضات أكثر إتساعا ويطلق عليها في هذه الحالة إسم بالوعة الإذابة المركبة Compound Sink Holes.

ب) الحفر الطولية كبيرة الحجم:

وهي عبارة عن حفر طولية الشكل كبيرة الحجم ذات جوانب شديدة الإنحدار ويطلق على هذه الحفر الطولية إسم محلي يوغوسلافي هو بولجي Polje.

أنواع المياه الجوفية:

1. الآبار الارتوازية Atresian Wells:

ويكثر حفرها في المناطق الجافة وشبه الجافة إلى أن يصل الحفر إلى الطبقة الحاوية للماء الجوفي والذي يختلف مستواه من مكان لآخر ومن فصل مناخي لآخر. ويتوقف حجم الماء المتجمع في البئر ومعدل ضخه إلى السطح على سرعة انسياب الماء إليه وعلى سمك الطبقة الحاوية للماء ثم على المدد الذي يستمد منها.

2. الينابيع Springs :

وهي مناطق ينخفض سطحها عن مستوى الماء الجوفي في الأرض المحيطة بها ومن ثم يندفع الماء على سطحها تلقائيا. وقد يتدفق الماء بصورة منتظمة أو متقطعة على فترات، غزيرا أو ضئيلا. كما قد يمثل المنابع العليا لبعض الأنهار كما هو الحال في كثير من أنهار لبنان وفي نهر العاصي الذي يبدأ رحلته من ينابيع شمال بعلبك ثم يتجه شمالا إلى أن يلتقي بالبحر المتوسط بعد رحلة 571كم.

ومما يساعد على كثرة الينابيع درجة ميل الطبقات التي تؤدي في بعض المواقع إلى تكوين حافات صخرية صماء في إتجاه ميل الطبقات ومن ثم إلى تجمع المياه أمامها واندفاعها غزيرة إلى السطح، وكذلك كثرة الشقوق Cracks والفواصل Joints وتتابع مسامية الصخور مع توفر طبقة صماء لحجر الماء أمامها

ورفع منسوبه، ووجود السدود الرأسية Dykes من الحجر الناري الذي يعمل أيضا على حجز الماء ورفع منسوبه.

3. الفورات الحارة Geysers:

فمع انتشارها في كثير من القارات وفي مختلف العروض إلا أنها تكثر في المناطق التي تعلو تيارات الحمل في القشرة الأرضية كما في هاواي وأيسلندة، وفي مناطق الحدود بين ألواح القشرة الأرضية، وفي مناطق الضعف بها كما في نيوزيلندا.

وكما يكون مصدر مائها – وهذا هو الغالب – هو ماء المطر الذي يتسرب بعضه تحت سطح الأرض ويذيب بعض الأملاح التي ترفع من درجة حرارته، قد يكون مصدر مائها الصهير نفسه والغازات المتكثفة التي تتصاعد من منطقة الوشاح وهو مصدر يرفع كثيرا من درجة حرارة الماء. وعلى كل فإن درجة حرارة ماء الفورات تتوقف على مدى العمق الذي تبدأ منه وعلى كمية الأملاح الذائبة فيه.

وبينما يكون بعضها في درجة حرارة الجسم ومما يحتمله الإنسان قد يتعدى بعضها درجة غليان الماء بكثير.

وكثيرا ما يتصاعد مع الماء بعض الرواسب وكربونات الكالسيوم وغيرها من الأملاح الذائبة. وقد يؤدي تراكمها على السطح بعد جفاف الماء من حولها بسبب البخر أو التسرب أو انقطاع التدفق إلى تكوين مخاريط ضئيلة الحجم مكونة صخورا جيرية تعرف بالجيزيريت Geyserite.

الظاهرات الناتجة عن المياه الجوفية:

يأتي معظم الماء المتسرب إلى جوف القشرة الأرضية من الأمطار المتساقطة والثلوج الذائبة ومن المياه الجارية ومن المحيطات والبحار المجاورة. وبينما يظهر بعض هذا الماس الجوفي على سطح الأرض في بعض المواقع – حيث يمكن الانتفاع به

- نتيجة لحركة المياه في الطبقة الحاوية له ودرجة ميلها ثم بعد هذه الطبقة عن سطح الأرض. قد يقتصر فعل الحالات تعمل المياه الجوفية على خلق بعض الظاهرات الجيومورفولوجية والتي من أهمها الآبار والينابيع.

تغذية المياه الجوفية:

تعتبر عملية تغذية المياه الجوفية أو ما يطلق علية بالصرف العميق أو الترشيح العميق، من عمليات هيدرولوجيا المياه وفيها تنحدر متحركة من السطح إلى الأسفل. تحدث هذه العملية في المنطقة أسفل جذور النبات ويعبر عنها بنسبة تدفق المياه السطحية. وهذه التغذية تحدث بشكل طبيعي من خلال دورة المياه أو تاريخيا بواسطة الإنسان عن طريق التغذية الصناعية للمياه الجوفية حيث يتم توجيه مياه الأمطار أو المياه المعالجة إلى باطن الأرض.

تغذى المياه الجوفية بشكل طبيعي عن طريق الأمطار أو ذوبان الثلوج وبشكل قليل عن طريق المياه السطحية (الأنهار والبحيرات). وقد تسبب بعض الأنشطة البشرية في إعاقة عملية تغذية المياه الجوفية مثل أعمال الطرق وقطع الأشجار ونقلها. مثل هذه الأنشطة قد تؤثر على المياه السطحية ومن ثم تقليل عملية تغذية المياه. إن استخدام المياه الجوفية في مجالات الري قد يؤثر على نقص كميات المياه التي تجري في الجداول. من جهة أخرى فان التغذية الجوفية تعتبر هامة لإدارة مستدامة للمياه، مع الأخذ في الاعتبار أن يكون معدل كمية المياه المستخرجة من باطن الأرض – على المدى الطويل– اقل أو مساوي لكمية المياه التي يتم تزويدها.

إن علمية تزويد المياه الجوفية من شأنه أن يساعد في تحريك الأملاح الزائدة التي تتراكم في المنطقة أسفل جذور النبات إلى طبقات أعمق أو إلى نظام المياه الجوفية. وهناك قضية بيئية أخرى، وهي عملية التخلص من النفايات عبر تدفق النفايات الصناعية، أو نفايات مزارع الألبان، أو مخلفات المدن من المياه.

- مفهوم التغذية الجوفية:

إن التغذية الجوفية هي إحدى الوسائل العملية لزيادة الموارد المائية، في البلاد القاحلة وفي المناطق الحارة والجافة التي يزيد فيها معدل التبخر على معدل هطول الأمطار بعدة أضعاف.

والتي لا يكون فيها التخزين السطحي مجدياً بسبب فاقد المياه الكبيرة. من هنا جاءت فكرة تخزين مياه الفيضانات تحت الأرض. وقد سميت هذه العملية بالتغذية الجوفية الصناعية أو تخزين واسترجاع مياه الخزان الجوفي ويمكن تعريفها كما يلي:

هي العملية المخططة من قبل الإنسان والتي يتم بموجبها تسرب المياه السطحية من الأودية إلى باطن الأرض بمعدلات وكميات تفوق التغذية الجوفية الطبيعية عدة مرات. وتنفذ التغذية الجوفية الصناعية بمساعدة آبار الحقن وسدود التغذية الجوفية أو أحواض التغذية الصناعية. وبالرغم من حداثة فكرة ومفهوم سد التغذية الجوفية فقد وجدت قبولاً واسعاً وسريعاً، وتم تشييد عدة سدود للتغذية الجوفية في البلاد العربية وعلى نطاق العالم، ومازال المزيد من المشاريع قيد التخطيط والتنفيذ. وقد اعتبرت فكرة التغذية الجوفية واحدة من الوسائل العملية القليلة المستخدمة في تعزيز وزيادة الموارد المائية في المناطق الجافة. وباستعمال التغذية الجوفية الصناعية للخزانات الجوفية فقد أمكن جني عدة ميزات منها أن سعة تخزين المياه الجوفية تزيد عن سعة تخزين معظم المنشآت السطحية، والطريقة غير مكلفة نسبياً بالإضافة إلى أنه يمكن تفادي مشاكل ترسيب الطين وتتم تنقية إمدادات المياه تنقية طبيعية لاستخدامها في أغراض الشرب. وفي الوقت نفسه يتم تخفيض فاقد المياه عن طريق التبخر.

إن التغذية الجوفية تحدث بصفة أساسية في أدنى الوادي بالنسبة للسد وليس في بحيرة التجميع نفسها عكس ما هو معتقد حيث أن أرضية البحيرة سرعان ما يسدها الطين. وعليه فإن التغذية الجوفية في هذه المنطقة تصبح غير مجدية. وعلى كل، فإن المياه التي يسمح لها بالتدفق من بحيرة التجميع تصبح صافية وتتسرب بسهولة إلى داخل الخزانات الجوفية الحصوية في أسفل المنحدر من السد. وقد يكون من الصعب للغاية تحديد النسبة المئوية التي يمكن استردادها من كمية مياه التغذية الجوفية الزائدة التي أوجدها السد بالمنطقة.

يتم تصميم السدود بحيث أن أقصى معدل للتدفق من الفتحات يضمن كفاية مساحة المنطقة المغمورة من المجرى في أسفل المنحدر لتسريب كل الحجم المتدفق من السد. ولا يمثل معدل التسرب في الطبقات الغرينية بأسفل المنحدر أي عائق لإستخدام كل المياه المتوفرة في التغذية الجوفية. وتوجد بالطبقات الغرينية في أغلب الأحيان سعة تخزينية أكبر مما يكفي لتغذية جوفية واحدة غير أن المواقع المفضلة في هذا المجال هي تلك المواقع التي تكفي سعتها لعدة تغذيات جوفية في فترة زمنية قصيرة.

ولتوضيح الصورة، نأخذ كمثال على ذلك خزاناً جوفياً بمساحة مائة كيلومتر مربع ومعامل مسامية مقدار (10٪) فيكون بإستطاعة هذا الخزان الجوفي تخزين كمية من المياه الجوفية بمقدار عشرة ملايين في الأمتار المكعبة إذا ارتفع منسوب المياه الباطني فيه بمقدار متر واحد فقط.

- تعريف السدود:

هي منشآت هندسية تشيّد على مجاري الأودية والأنهار والمنخفضات بهدف حجز أكبر قدر ممكن من المياه. كما أنها تعتبر من أقدم المنشآت التي عرفها الإنسان. وعادة ما يتم تصنيفها حسب أشكالها والمواد التي إستخدمت في بنائها والأهداف التي أنشئت من أجلها. ونظراً لمحدودية الموارد المائية بالسلطنة فقد بذلت

الحكومة جهوداً كبيرة لتعزيز هذه الموارد وذلك من خلال بناء سدود التغذية الجوفية وسدود التخزين السطحي.

- الأجزاء الرئيسية للسد:

جسم السد ويمثل الهيكل الرئيسي للسد والذي يعمل على حجز مياه الفيضانات ويتم إنشاؤه إما من الأتربة المدكوكة المتجانسة أو من الخرسانة المسلحة.

مفيض التصريف وهو عبارة عن وسيلة لتحويل أو لتصريف مياه الفيضان الزائدة من بحيرة التخزين لمنعها من أن تتجاوز حد الامتلاء مما قد يتسبب في إحداث أضرار بالسد، ويتم إنشاؤه من سلال الجابيونات وجدران القواطع أو من الخرسانة المسلحة ويعتمد ذلك على سرعة تدفقات الأودية وتوفر مواد الإنشاء بالموقع.

بحيرة السد وهي أي شكل من أشكال أحواض تخزين المياه أو بحيرة صناعية.

شبكة المراقبة الهيدرومترية ويتم من خلالها مراقبة أداء وكفاءة السد وتتضمن أجهزة لقياس منسوب المياه في البحيرة ومحطات لقياس تدفق الأودية وآبار لرصد منسوب المياه في منطقة التغذية الجوفية وأخرى لرصد أية تسربات قد تحدث في جسم السد بالإضافة إلى أعمدة قياس كميات الطمي في بحيرة التخزين ونقاط مساحية على جسم السد والمفيض لرصد اية تغييرات في منسوب السد.

- الأسس المتبعة في إنشاء السدود:

تخضع السدود بكافة أنواعها وقبل تنفيذها للعديد من الدراسات بدءاً بدراسات استكشافية للمواقع للتأكد من مدى صلاحيتها لإقامة سدود عليها وتقييم مبدئي للوضع المائي بالمنطقة. وبعد أن يتم اختيار المواقع تخضع جميعها

لأعمال المسوحات الطبوغرافية لتحديد ارتفاع السدود المقترحة وكميات المياه المحتجزة، تليها دراسات مكتبية لجمع معلومات عن البيانات الهيدرولوجية المتوفرة لأطول فترة ممكنة عن محطات الأمطار وتدفقات الأودية وبيانات عن الآبار والأفلاج وتحليلها وتقييمها بهدف تقييم الوضع المائي بالمنطقة واستنباط تصاميم الفيضانات التي ستبنى عليها السدود، يلي ذلك القيام بالدراسات الجيولوجية والهيدرولوجية لمواقع السدود لمعرفة البنية الجيولوجية لكل من الأساسات والأكتاف ومواد الإنشاء عن طريق أعمال التحقيقات الجيوتقنية والتي تتمثل في حفر آبار إختبارية موزعة على طول محور السد والأكتاف لمعرفة بنيتها الجيولوجية ودرجة نفاذيتها للمياه وذلك بهدف إتخاذ الحلول الهندسية المناسبة في مرحلتي التصميم والتنفيذ، إلى جانب أخذ عينات من مواد الإنشاء من المواقع المحددة بالقرب من مواقع السدود وفحصها وتحليلها بالمختبر وبيان مدى ملاءمتها للإنشاء.

كما تتضمن هذه الأعمال حفر بئر اختبارية وإجراء تجارب الضخ عليها لمعرفة خصائص الخزانات الجوفية. وبعد الإنتهاء من الدراسات أعلاه تتم دراسات الجدوى الاقتصادية بحيث يتم دراسة العائد الاقتصادي للمشروع بدراسة نسبة العائد إلى التكلفة ومعدل العائد الداخلي كذلك الدراسات البيئية ومن ثم إعداد التصاميم الأولية والتفصيلية وتقديرات التكلفة ومن ثم إعداد مستندات مناقصة تنفيذها. وقد تم تنفيذ العديد من الدراسات لإقامة سدود للتغذية الجوفية وأخرى للحماية من مخاطر الفيضانات أو للتخزين السطحي كسد وادي ضيقة.

- طرق التقدير:

يبدو من الصعب حصر طرق التقدير الكمي لتغذية المياه الجوفية حيث يتطلب ذلك إجراء قياسات أولية لتحديد كمية البخر والترشيح وعملية الفلترة أو التنقية.

- **الطرق الفيزيائية أو الطبيعية:**

تستخدم الطرق الفيزيائية المبادئ المستخدمة في معرفة خصائص التربة وذالك عند تقدير عملية تغذية المياه. وتحاول الطرق المباشرة بشكل واقعي، قياس كمية المياه التي تمر أسفل منطقة جذور النبات بينما تعتمد الطرق غير المباشرة على الخصائص الفيزيائية أو الطبيعية للتربة. وكليهما يمكن استخدامه في تقدير كمية تغذية المياة.

وفي غضون بضعة شهور من عدم تساقط الأمطار فان منسوب المياه ينخفض بالأنهار تحت ظروف المناخ الرطب ويمثل استنزاف للمياه الجوفية. وعلية يمكن حساب تغذية المياه الجوفية على أساس معرفة حالة التدفق ومنطقة تجمع المياه.

- **الطرق الكيميائية:**

تستفيد الطرق الكيميائية من التواجد النسبي للمواد القابلة للذوبان في المياه مثل تتبع النظائر أو الكلورايد المتحركة عبر التربة كما يحدث في الصرف العميق.

- **النماذج الرقمية:**

يمكن تقدير عملية التغذية بالمياه باستخدام طرق رقمية عن طريق رموز مثل HELP, UNSAT- H, SHAW, WEAP وكذلك.MIKE SHE ويوجد تعريف للبرنامج HYDRUS 1D على الإنترنت.

هذه الرموز بصفة عامة تستخدم بيانات عن المناخ والتربة ذلك بهدف الوصول لتقدير كمية تغذية المياه واستخدام معادلة ريتشارد بشكل ما لنموذج تدفق المياه الجوفية في منطقة فادوس "VADOSE".

تحافظ الأراضي الرطبة على مستوى المياه الجوفية والتحكم في الرأس الهيدروليكي. وهذا من شأنه أن يزيد من قوة التغذية وإعادة التغذية للمياه. كما إن تغذية المياه الجوفية في الأراضي الرطبة يعتمد على نوع التربة، الحياة النباتية، الموقع، نسبة وحجم المياه المحيطة، وتدرج القاعدة المائية. وتحدث تغذية المياه الجوفية من خلال التربة التي تحتوي ذراتها على المعادن وتوجد على حواف الأراضي الرطبة. وتتميز لتربة في معظم الأراضي الرطبة بأنها غير نافذة بشكل نسبي. ويعني ارتفاع نسبة وحجم المياه المحيطة في الأراضي الرطبة، إلى وجود فرصه عالية لحدوث تسرب أو رشح للمياه في المناطق السطحية نحو المياه الجوفية.

وفي بعض مناطق الأراضي الرطبة الصغيرة مثل براري بوثوليس "Potholes" تكون عملية تغذية المياه الجوفية مشابهه إلى حدا كبير وتسهم في التغذية لمصادر المياه الإقليمية وفي كل فصل من فصول العام يكتشف الباحثون حوالي 20٪ من تغذية المياه الجوفية في الأراضي الرطبة

العوامل المؤثرة في مستوى الماء الجوفي:

النطاق المائي هو المد الأعلى للماء الجوفي إلا أن مستوى الماء الجوفي يصعد ويهبط تبعا للعوامل التالية:

أولا: عوامل طبيعية:

- نوع الرواسب: هل هي خصوبية أو رملية أم طينية.
- خصائص مناخ المنطقة: من حيث كمية الأمطار وديمومتها وفصول الرطوبة والجفاف بالإضافة إلى التبخر والجريان.
- المساهمة والنفاذية للطبقات الواقعة فوق مستوى الماء الجوفي وتحته.
- الجاذبية والخاصية الشعرية والغطاء النباتي.

ثانيا: العوامل البشرية:

- حفر الابار وزيادة الضخ: يخفض من مستوى الماء الجوفي.
- حقن الابار بالمياه يرفع من مستوى الماء الجوفي.
- الإمتداد العمراني والنشاطات البشرية الأخرى حيث يؤدي ذلك إلى زيادة معامل الجريان على معامل الرشح وهذا بفضل من تسرب الماء السطحي إلى الماء الجوفي.

تقنيات استكشاف المياة الجوفية:

لقد تطور علم الهيدروجيولوجيا في السنوات الماضية باختراع تقنيات لاستكشاف المكامن المائية (الطبقة الحاملة للمياه) حيث تمكن العلماء من اختراع العديد من الأجهزة لاستكشاف الطبقات الحاملة للمياه وبالذات في العقدين الماضيين، مع مراعاة النواحي البيئية وتحليلها. فقد استخدمت تقنيات الاستكشاف الجيوفيزيائي للمياه الجوفية أيضا في تتبع حركت المياه الجوفية في أعماق الأرض وفي المناجم السطحية وفي المفاعلات وفي التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية والملوثات النووية وأيضا دراسة اثر السدود وخزاناتها وغيرها، حيث ما ذكر أعلاه يؤثر على المياه الجوفية من حيث الكمية والنوعية معا، وفي هذا الموضوع سأتطرق لعدة تقنيات للاستكشاف واستخداماتها في علم الهيدرولوجيا مثل:

- إسخدام الصور الجوية والاستشعار.
- استخدام الطرق الجيوفيزيائية السطحية والجوفية ونوعها.

1) تحليل الصور الجوية:

تستخدم الصور الجوية وخيالات الاستشعار عن بعد في عدة مجالات عمرانية وحضارية وإنسانية وزراعية وفي تقييم الموارد الطبيعية. أيضا تستخدم كمرحلة أولية في استكشاف المياه الجوفية وذلك برسم الخرائط الطبيعية

الأساسية ذات المقاييس المختلفة المناسبة في تحليل الصور الجوية الملتقطة لمعرفة التراكيب الجيولوجية من صدوع وطيات وشقوق وكهوف.

وسوف نهتم بتحليل آثار الانكسارات الجيولوجية للبحث عن مصادر المياه الجوفية التي تعد أحد العوامل الناجحة التي يستخدمها الهيدرولوجيين وخصوصا في المناطق ذات التكوينات الجيولوجية الجيرية.

تتركز المياه الجوفية كما نعلم في الفراغات والمناطق ذات الانكسارات الشديدة (Fracture Zone) لعدة أنواع من الصخور. ويمكن معرفة هذه الانكسارات من دراسة الظواهر والسمات الخطية (Linear Feature) في الصور الجوية وصور الأقمار الصناعية.

2) الطرق السطحية للمسح الجيوفيزيائي:

جهاز المقاومة الكهربائية ثنائي الأبعاد مع الالكترود المستخدم في التوصيل الكهربائي، استخدمت المسوحات الجيوفيزيائية لعدة عقود زمنية في حقول المناجم والنفط وقد اكتشف الهيدرولوجيون مدى النفع الذي تحققه هذه المسوحات في استكشاف المكامن المائية الجوفية للأعماق الضحلة والعميقة (بضع مئات الأمتار تحت سطح الأرض)، وتستخدم عدة طرق لهذا الغرض وفيما يلي أكثرها شيوعا:

1. طرق قياس المقاومة الكهربائية: Direct Current Resistivity.
2. الانكسارات الموجيه السيزيمية: Seismic Refraction.
3. طرق المغناطيسية والجاذبية: Gravity and Magnetic Method.

فوائد استخدام الطرق الجيوفيزيائية:

- تحدد هذه الطرق طبيعة التكوينات الجيولوجية تحت سطح الأرض.
- تحديد سمك الطبقات المتماسكة على السطح.
- تحديد مستوى وأعماق المياه الجوفية.

- التعرف على التراكيب الجيولوجية في باطن الأرض مثل رسوبيات الحصى وطبقات الطين.
- تحديد أعماق الصخور التي توجد أسفل المكامن المائية.
- رسم الخرائط اللازمة التي تساعد في تحديد مواقع الابار في الحقل دون اللجوء في كل مرة إلى الاستكشاف الجيوفيزيائي المكلف.

1. طريقة المقاومة الكهربائية بالتيار المستمر:

هي إحدى الطرق الجيوفيزيائية الكهربائية التي لها نتائج ملموسة وناجحة في استكشاف الطبقات الحاملة للمياه ويستخدم في هذه الطريقة التيار الكهربائي المستمر أو تيار ذو ترددات منخفضة.

ويستخدم جهاز المقاومة الأرضية حيث يدفن في الأرض الكترودات معدنية وإذا كانت التربة جافة تبلل بالماء لتصبح جيدة التوصيل، ويقاس فرق الجهد للأرض عن طريق الكترودين معدنيين آخرين موصلين على سطحها وبمعرفة التيار المتنقل فرق الجهد بين الالكترودين نحصل على قيمة المقاومة مواد الأرض.

وتتغير مقاومة الأرض الكهربائية (Electrical Resistivity) من – 6 10 (اوم. م) لمعدن الجرافيت إلى حوالي +12 10 (اوم. م) لصخر الكوارتزيت ويمكن حساب المقاومة كالتالي:

ويوضح الجدول التالي الرموز المستخدمة في حسابات المقاومة الأرضية:

الرمز R A L ΔV I

تفسيره المقاومة الأرضية مساحة المقطع طول المسمار فرق الجهد شدة التيار (تقاس المقاومة الكهربائية بـ (اوم. م) أو (أوم. قدم) وتصمم الأقطاب الأربعة كالآتي:

الرمز A B M , N

تفسيريه ألكترود ذو تيار موجب ألكترود ذو تيار سالب إلكترود الجهد.

وهناك طريقتان أساسيتان لتصميم الالكترودات المستخدمة للمقاومة وذلك اعتمادا على المسافة بينهما وهما طريقة (Wenner) وطريقة (Schlumberger):

أ) طريقة Wenner:

بهذه الطريقة تكون المسافات بين الالكترودات متساوية عند تثبيتها إلى الأرض حيث AM = MN = NB = a

ب) طريقة شلمبرجير Schlumberger Array:

تنظم الالكترودات في هذه الطريقة بحيث يكون الكترود الجهد أقرب إلى بعضيهما البعض وحيث المسافة AB أكبر من المسافة (MN) بخمس مرات.

يتم قياس المقاومة بطريقتين:

القياس الكهربائي: Electrical Sounding أو هي قياس المقاومة مع العمق.

قياس المقاومة الأفقي: Horizontal Profiling وتتم من خلال تحديد مقطع عرضي لتطبيق المسح الجيوفيزيائي من خلال تحديد نطاقات محددة على الأرض.

وتعتبر طريقة شلمبيرجير هي الطريقة الشائعة الآن من خلال استخدام جهاز المقاومة الأرضية والطبق في استكشاف الدراسات المائية في وزارة البيئة والمياه.

2. الطرق الاهتزازية السيزمية: Seismic Methods

تستخدم الطرق السيزيمية في إحداث أمواج اهتزازية تنتقل خلال صخور الأرض وطبقاتها وهذه الطرق شائعة الاستخدام في الهيدروجيولوجيا، وهي مفيدة في تحديد عمق الطبقات وسماكتها وميلها وعمق الطبقة الحاملة للمياه أحيانا والتكوين العام للطبقات، وتستخدم هذه الطرق في الصناعة النفطية بشكل عام ويحدد من خلالها تكوين الطبقات وكذلك الشكل الهندسي لحدود الطبقات.

3. طرق الجاذبية المغناطيسية Gravity and Magnetic Methods :

وتعتبر هذه الطريقة من الطرق الجيوفيزيائية المهمة قياس مجال الجاذبية والمغناطيسية الأرضية وذلك من اجل دراسة تراكيب وتكوينات مواد الأرض ذات الكثافات المغناطيسية المختلفة التي تعتمد على تراكيبها المعدنية، ولقد تطور هذا العلم لخدمة علة الهيدرولوجيا بهدف تحديد أماكن وجود المياه الجوفية في الأماكن المنخفضة مثل الوديان، والقنوات القديمة ، والموارد غير المتماسكة والصخور البلورية ذات المهشمة (كسور) كالبازلت وتستخدم هذه التقنية أجهزة عديدة مثل جهاز الجاذبية الأرضية (Gravimeter) جهاز الكاشف الجوي (Airborne).

في الدراسات الهيدروجيولوجية تكون التغيرات المغناطيسية مفيدة لتوضيح مغناطيسية الصخور الجوفية مثل صخور البازلت وهي من المكامن المائية المهمة في الصخور البلورية، لكونها صخور نارية شديدة الانكسارات والشقوق، وذلك بسبب تبريدها المفاجئ وتستخدم هذه التقنية أيضا للتتبع طبقات البازلت مع الصخور غير المغناطيسية.

يعتقد الكثير من الناس ان المياه الجوفية يمكن الحصول عليها بالحفر في أي مكان في اي عمق كاف او الى مستوى اقرب مجرى مائي، ولكن ليست الحال

دائمـا كـذلك إذ ان الميـاه الجوفيـه لا توجـد إلا في ظـروف جيولوجيـة ومناخيـة ملائمة.

ولايجوز الإبتداء بمشروع يعتمد المياه الجوفية لإبعد الوثوق بكفاية مخزون هذه المياه ودراستها في فترات مختلفة على مدار السنه واختبار المواقع بواسطة ابار اختبارية.

ولأختيار مواقع الآبار الضحلة او المتوسطة العمق يمكن ان يهتدي بشكل الأرض وطبيعة الصخور الواقعة تحت السطح مباشرة وطبيعة النباتات وغزارتها ويمكن ايضا أن نسترشد بوجود بعض المواقع الرطبة من الارض أو بوجود رواسب سطحية تبخرية ناتجة من تبخر المياه الجوفية الصاعده بفعل الخاصية الشعرية في المناطق الجافة، ويمكن استخدام طرق البحث الجيوفيزيائي لأختيار اماكن حفر آبار الماء.

– الطرق الجيولوجية والطبوغرافية:

وهي تساعد على الكشف عن اماكن تجمع المياه الجوفيه بالمشاهدات التالية:

1) ضباب الأرض:

يظهر على سطح الأرض أحيانا ضباب تختلف كثافته باختلاف تبخر المياه الجوفي، باستخدام طرق مختلفة مثل: استخدام أفرع طويلة من الأشجار (في المناطق شبه الرطبة) تغرس في الأرض وعندئذ تميل الأفرع في هذا الاتجاه كما يمكن استخدام صحون توضع مائلة فوق سطح الأرض وتترك طوال اليل فيشاهد بخار الماء كثيفا على سطحها الداخلي في الصباح إذا كان بالأرض كمية كبيرة من المياه الجوفية.

2) الأراضي الرطبة والراشحة:

عندما يكون الماء الجوفي تقريبا قريبا من سطح الأرض، فان قدرا من هذا الماء يصل الى السطح بالخاصية الشعرية، لذلك فإن الأراضي الرطبة أو وود مياه راشحة، تعد دلالات في كثير من الأحيان على وجود مياه جوفية قريبة من سطح الأرض.

ولكن عند القيام بمثل هذه المشاهدات يجب ملاحظة أنه يمكن أن تكون بعض الأراضي والصخور السطحية رطبة نتيجة لاحتوائها على بعض الأملاح المتميعة التي تمتص الرطوبة من الجو، وفي هذه الحالات لاتدل رطوبة سطح الأرض على وجود مكمن للمياه الجوفية تحته.

وفي حال اكتشاف مكمن للماء الجوفي يجب اختيار موقع البئر في اتجاه سريان المياه.

وعلى مسافة قصيرة من موقع الرشح. ومستوى أعلى من منطقة الرشح قليلا.

3) طبوغرافية سطح الأرض:

يسترشد بها لتعيين أنسب الأماكن لحفر الآبار فمن المعروف ان مستوى الماء الجوفي يكون أقرب الى سطح الأرض تحت الوديان عنه تحت المناطق المرتفعة.

4) المناطق الشاطئة والكثبان الرطبة:

في المناطق ذات التساقط الكافي من الامطار تتجمع طبقة من المياه العذبة تطفو فوق المياه المالحة تحت سطح الارض بالقرب من الشواطئ أو المساحاة المغطاة بالكثبان الرملية.

5) وديان الانهار:

تعطى الوديان الواسعه المفتوحة واللطيفة الانحدار فرصا أحسن لحفر الآبار مما تعطيه الوديان الضيقة ذات الانحدار الشديد.

الوسائل الجيوفيزيائية للكشف عن المياه الجوفية:

أولا: طرق التحديد المباشرة لمواقع المياه الجوفية

تتوقف هذه الطرق على الخواص الفيزيائية للمياه الجوفية، فيمكن العثور على مياه الينابيع الحارة أو المالحة او المياه ذات الإشعاعات عن طريق تحديد التأثير الحراري أو الكهربائي أو الإشعاعي لهذه المياه على سطح الأراضي التى فوقها. ويتم هذا التحديد باستخدام اجهزة مثل: مقاييس الحرارة thermometers وعدادات جيجر geiger counters.

لقياس الإشعاع الذري أو أجهزة خاصة لقياس المقاومة الكهربائية للصخور. وتعتمد هذه المقاومة في كثير من الحالات على كمية الأملاح الذائبة في السوائل المتخللة في الصخور. إذ هي تتناسب عكسيا مع كمية هذه الأملاح.

مثال: مناطق الكارست الغنية بالصخور الجيرية....

هنا يمكن استخدام الطرق اللاسلكية للكشف عن مواقع المياه الجوفية، فالموجات الاسلكية تتأثر بوجود مقل هذه الفجوات أثناء سيرانها في باطن الأرض.

ويمكن تحديد مستوى الماء الأرضي بطرائق جيوفيزيائية بأخذ قراءات هيجرومترية. (يعني تحديد نسبة الرطوبة في الصخور والتربة). على أعماق مختلفة من خلال حفر بعض الآبار الاستكشافية.

ثانيا: طرق تحديد التكاوين المناسبة لوجود المياه المناسبة:

تعتمد هذه الطريقة على تحديد الاماكن المناسبة لوجود المياه وتتوقف على رسم الخرائط الجيولوجية للكشف عن التكاوين المناسبة التى تتسم غالبا بطابع الميل في الاتجاه البعيد عن منطقة التشرب او تمتاز بالتقعر.

وفي هذه الحالات يمكن استخدام احدى الطرق الجيوفيزيائية التي تعتمد على وجود الاختلافات في الكثافة او المرونه أو المغناطيسية أو التوصيل الكهربائي للصخور وتعرف هذه الطرق بـ "الطرق الزلزالية والطرق المغناطيسية والطرق الكهربائية".

يمكن التنقيب عن المياه الجوفية بعدة طرق وأفضل تلك الطرق هي الطرق الجيوفيزيائية وبالأخص الطريقة الكهربائية فهيا من أفضل الطرق للتنقيب عن المياه الجوفية التي تتواجد في المتكونات المائية تحت سطح الأرض، وللتنقيب عن المياه الجوفية يجب دراسة المنطقة من حيث تغذية المتكون المائة بمعني اخر دراسة كمية الأمطار المتساقطة، فالأمطار تقوم بتغذية المتكونات المائية فبالتالي تكون متكونات متجدده ويمكن الإستفادة منها وهنالك ثلاث متكونات مائية وهي:

1) المتكون المحصور.
2) المتكون الشبة محصور.
3) المتكون الغير محصور.

جميع هذه المتونات تعتمد على الطبقات الموجودة فكل طبقه لها دور كبير من حيث تغذية المتكون المائي وكذلك بمسامية الصخر ونفاذيتة، علم الهيدروجيولوجي علم كبير جدا يدرس تواجد المياه تحت سطح الأرض وحركة المياه وكمية التغذية والدوره المائية للمنطقة ودراسة حالة المناخ وعمل الخرائط الكنتورية وكذلك عمل الدراسات الإحصائية.

ثالثا: طرق تحديد الطبقات الحاملة للمياه:

تهدف هذه الطريقة الى الى تقدير حالة الطبقات الحاملة للماء وعمقها، وتحدد الظروف الخاصة بالمناطق المختلفة اختيار الطريقة الجيوفيزيائية المناسبة للقيام بهذه التقديرات فتعتمد الطريقة الزلزالية مثلاعلى ان سرعة انتقال الموجات الزلزالية في التكاوين الرطبة اكبر منها في التكاوين الجافة ولكن لايمكن استخدام هذه الطريقة لتحديد الطبقات الحاملة للمياه في حال وجود تتابعات صخرية ذات اختلافات كبيرة في قابليتها لتوصيل الموجات الزلزالية نتجة اختلاف في تكوينها الصخري. اذن هذه الاختلافات تحجب تأثير وجود الماء على الموجات الزلزالية. فهنا نعتمد دائما على الطرق الكهربائية.

وتعتمد هذه الطريقة على ان الماء في مسام الصخور يغير درجة توصيلها للكهرباء الى حد قد ينعدم فيه تأثير طبيعة الصخور نفسها. ولكن في حالة المياه الجوفية قليلة الملوحة. قد يكون استخدام الخاصية الكهربائية أمراً صعباً.

لأن تأثير الملوحة الموجودة في المياه قليل جدا ولايؤثر. وهنا يمكن معرفة الطبيعة الصخرية والخواص الجيوفيزيائية الحاملة للمياه من خلال آبار حفرت قريبا من المنطقة.

وأخيراً، بعد اكتشاف مكامن المياه الجوفية يجب تحديد اتساعها ومخزونها من هذه المياه وأيضا كيف يتم تزويدها بالماء المتخلل في مناطق التشرب، فيمكن أن يكون لمكمن واحد من المياه الجوفية عدة مناطق تشرب.

الشروط الواجب توافرها ليكون أبار مياه ارتوازيه هي:

1) أن يكون مكمن الماء الجوفي تكوين مائل أو في هيئة بحيرة مقعرة.
2) أن تكون منطقة التشرب للمكمن على ارتفاع يكفي ان يولد ضغطا مائياً رأسياً.

3) من الأكيد ان تكون منطقة التشرب منطقة مطيرة ليتشبع المكمن.
4) أن تكون مياه محصورة ولايوجد أي تركيب يسرب المياه.

مثال: من اشهر المكامن المائية هو حوض لندن الذي يغذي معظم اجزاء لندن على شكل بحيرة مقعر.

البحيرات:

عبارة عن أحواض أو مسطحات مقعرة ممتلئة بالمياه. تقع فوق سطح الأرض، وتعد من المصادر المائية السطحية. وترتبط مساحاتها بعاملين أساسيين يتمثل الأول بمساحة الحوض أو المقعر الممتلىء بالمياه، والثاني بالعلاقة بين كمية المياه التي يكتسبها الحوض عن طريق التساقط أو ذوبان الثلوج أو الاثنين معا. وكمية المياه التي يفقدها عن طريق عاملي التسرب خلال التكوينات الأرضية والتبخر.

تتصف مياه البحيرات ببطء تحركاتها وأحيانا ثباتها. تتراوح مياه البحيرات في العالم بين العذبة والمالحة تبعا لطبيعة مصادر تغذيتها الأساسية. وتتوزع في مختلف قارات العالم. حيث إن أكبر 16 بحيرة في العالم تتراوح مساحاتها بين مساحة العراق(بحر قزوين) ومساحة الكويت(بحيرة بلكاش).

إن حجم مياه البحيرات العذبة في العالم يشكل نسبة ضئيلة جدا من جملة المياه العذبة الموجودة في الكتل القارية المختلفة، لا تزيد عن نسبة 0.4٪.

إن أهمية وجود البحيرات كبيرة. فالمياه تستخدم لري المحاصيل الزراعية. وصيد الاسماك والنقل. ومحطات توليد الطاقة. كما تستخدم البحيرات كحدود سياسية بين الدول. وأصبح العديد من البحيرات في العالم تشكل مصدر دخل مهم في الدول التي استثمرت بحيراتها لأغراض السياحة. وبنسبة 72٪ من جملة مساحة الكرة الأرضية.

أما حجم المياه في البحار والمحيطات فيبلغ تقريبا 1347مليون كيلو متر مكعب. وهو ما يوازي نسبة (97.3 ٪)من إجمالي حجم مياه الكرة الأرضية البالغ 1385 مليون كيلو متر مكعب. لذلك يطلق وصف الكوكب المائي على الارض.

إن البحار والمحيطات تشكل وحدة طبيعية فريدة في الكرة الأرضية نظرا لاتصالها الطبيعي بعضها ببعض. وهذا دفع الجغرافيين لإطلاق مفهوم محيط للتعبير عن هذا الترابط.إذ لا توجد فواصل بين مسطح واخرلذلك أصبحت دوائر العرض وخطوط الطول هي الأساس الذي يعتمد عليه في تحديد الحدود بين المسطحات.

تتوزع مياه المسطحات البحرية بين ثلاث محيطات رئيسية هي المحيط الهادي ويشغل49.5٪ وتدخل ضمنه العديد من البحار في شرق قارة آسيا وغرب الأمريكتين. أما المحيط الأطلسي فيغطي مساحة تشغل نسبة 29.5٪. حيث يشغل هذا المسطح البحري المساحة الواقعة بين غرب قارة أوربا وقارة افريقيا وامتدادها جنوبا وشرق الأمريكتين، ويدخل ضمنه البحار الواقعة في تلك الجهات. ويشغل المحيط الهندي مساحة 21٪ وهي المساحة التي تبدأمن اتصاله بالمحيط الهادي إلى الجنوب من جزيرة تسمانيا وامتداده غربا حتى رأس أجولهاس في أفريقيا والى الجنوب حتى القارة القطبية الجنوبية.

إن أهمية البحار والمحيطات تظهر واضحة من خلال معرفة الجوانب المتعددة لاستخداماتها والمتمثلة بالآتي:

1) الحصول على المياه العذبة: ويتم ذلك من خلال عمليات تحلية المياه (إعذاب المياه).
2) الصيد البحري: حيث يمثل الصيد البحري نشاطا اقتصاديا للسكان في العديد من دول العالم ذات الموقع الجغرافي البحري الملائم لوجودالاسماك. والتي تشكل غذاء صحيا ومهما للإنسان، إضافة للفوائد المادية الناتجة من الصيد. وتشمل

هذه الحرفة صيد الأسماك بمختلف أنواعها، وكذلك صيد الإسفنج، واستخراج اللؤلؤ.

3) استخراج بعض العناصر المعدنية: يعتبر كلوريد الصوديوم (ملح الطعام) من العناصر المعدنية الأساسية المستخرجة من البحار والمحيطات، ولا يقتصر استخدامه على الطعام بل يمتد ليشمل استخدامات أخرى واسعة في الصناعات، والصناعات الكيميائية احد أهم أنواعها.. كما يستخلص من المياه البحرية، المغنيسيوم والبروم واليود. واستخراج البترول والغاز الطبيعي من المياه البحرية أصبح يشكل تطورا مهما في اقتصاديات كثير من دول العالم. حتى أصبح منافسا قويا للبترول والغاز المستخرج من المناطق القارية.

4) الحصول على مصادر الطاقة: ويتم ذلك باستغلال حركة المد والجزر والفرق الناتج عنهما، في إدارة التوربينات لتوليد الطاقة الكهربائية. إذ توجد حاليا اكبر محطة في العالم لتوليد الكهرباء بقوى المد والجزر في خليج (رانس الطولي) الذي يمثل امتدادا جنوبيا لخليج سانت مالو والمتعمق داخل اليابس لمسافة 15 كيلومتر في مقاطعة بريتاني الفرنسية.

5) اعتماد المياه البحرية كحدود سياسية بين الدول: ويتم ذلك من كون المياه الإقليمية للدول المطلة على بحار ومحيطات تمثل حدودا سياسية معبرة عن امتداد سيادة الدولة إليها. ويعتبر امتداد حدود الدولة داخل المياه لمسافة 12 ميلا بحريا، هو المبدأ الأكثر قبولا والمتفق عليه قانونيا، رغم اعتراض العديد من دول العالم النامي عليه.

6) استخدام المياه البحرية طرق نقل:يمتد هذا الاستخدام لقرون عديدة مضت ومازال بسبب المزايا الاقتصادية العديدة التي يوفرها هذا النوع من النقل، فنقل البضائع والسلع الثقيلة الوزن ولمسافات طويلة وبكلفة زهيدة، إضافة لانتقال الأشخاص، يمثل مزايا جاذبة للاستخدام، حيث أصبحت السفينة والميناء والطريق الأمن عناصر أساسية في النقل البحري. لقد ظهرت إمبراطوريات كبيرة عبر التاريخ من خلال موقعها البحري. كما إن طرق بحرية تجارية

عالمية لعبت أدوارا مهمةً في الحياة السياسية والاقتصادية للعديد من دول العالم ولا تزال حتى الوقت الحاضر.

تعرف البحيرة:

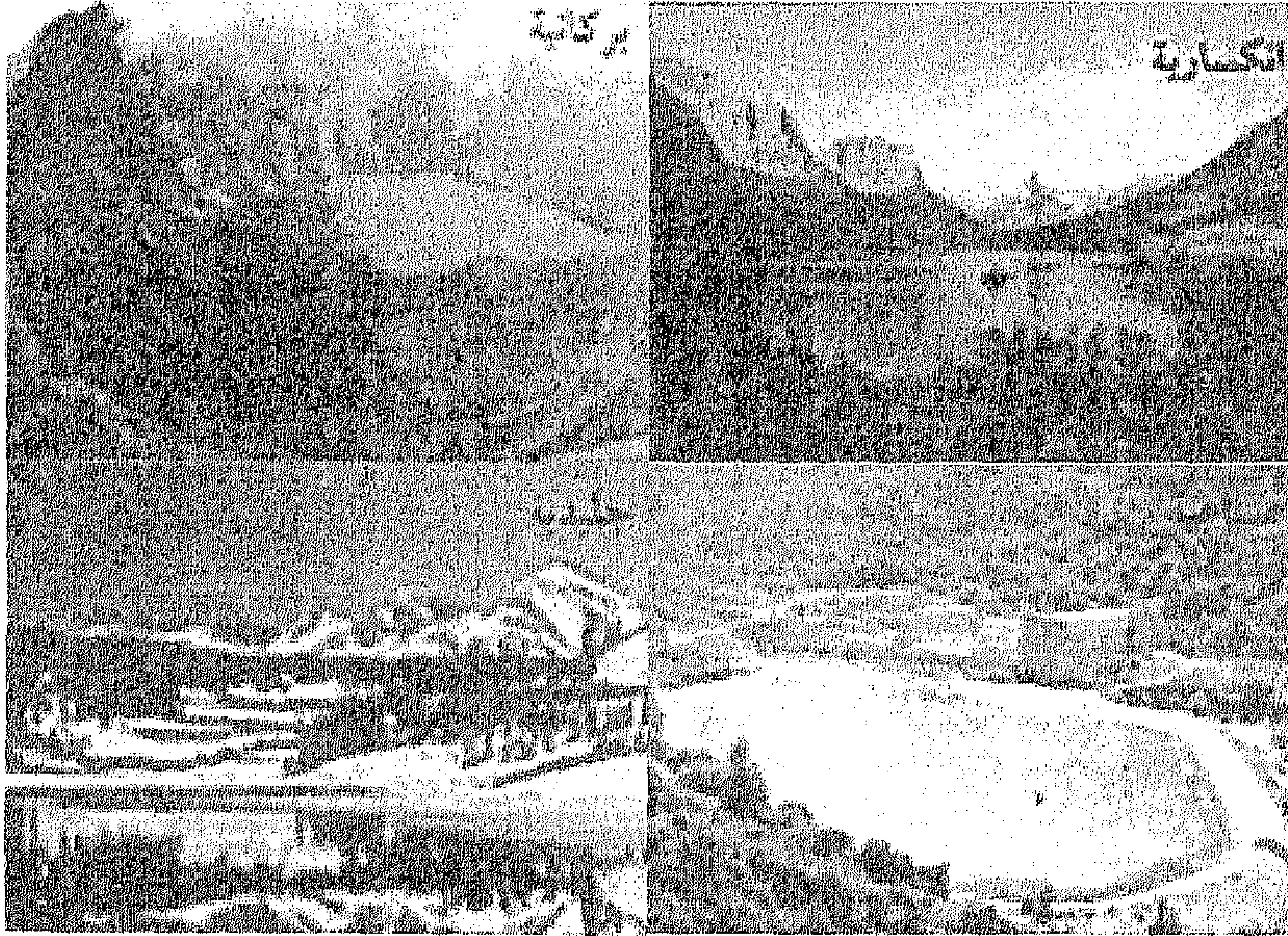
البحيرة Lake حوض مائي طبيعي يقع ضمن اليابسة، وقد يرتبط بالبحر بوساطة الأنهار، ويتصف بتبادل مائي بطيء، إذ تبقى مياهه في الحوض مدة طويلة من الزمن فتتجمع فيه المواد الصلبة العالقة والمحمولة والمجروفة القادمة من خارج البحيرة ومن داخلها. وتتعرض الكتلة المائية لتبدلات ملموسة في خصائصها نتيجة للعمليات الفيزيائية والكيمياوية والحركية والحيوية داخل البحيرة. وكلما كان تصريف المياه سريعاً اقتربت في خصائصها من خصائص مياه الأنهار. والعكس يعني أن تبدلات مهمة ستعتري خصائص المياه وعالمها العضوي.



منشأ البحيرات:

تنتشر البحيرات في كل العروض، وأسباب تكوّنها متنوعة ويمكن حصرها في ما يلي:

- البحيرات البنائية: وتكثر في مناطق الحركات البنائية والاندفاعية النشطة ولاسيّما في المناطق الجبلية وتشمل البحيرات الانهدمية والبحيرات البركانية.
- البحيرات الحتية: التي تكونت نتيجة لعمليات الحت المختلفة وهي متنوعة الأنماط وأهمها البحيرات الجليدية وبحيرات الأنهار والبحيرات الساحلية البحرية.
- البحيرات العضوية: وتشاهد في المناطق البحرية المدارية وتكونها العضويات المرجانية (الأتول).
- البحيرات الصنعية: وهي بحيرات السدود (بحيرتا ناصر والأسد). وهي عميقة ومتطاولة ومتعرجة كالأنهار ومساحاتها متباينة كثيراً.



بعض أنواع البحيرات

تصنّف البحيرات حسب نشأتها إلى عدة أنواع منها:

1) الساحلية:

وهي التي توجد بجوار خط الساحل. مثل: بحيرات أدكو، والمنزلة في مصر.

2) الانكسارية (الأخدودية):

وهي البحيرات التي نشأت نتيجة لحدوث انكسارات في سطح الأرض؛ مما ينتج عنها أخاديد، فاحتلت البحيرات قيعان هذه الأخاديد، مثل: بحيرة نياسا، وتنجانيقا في منطقة الأخدود الإفريقي العظيم.

3) البركانية:

وهي البحيرات التي تكونت بسبب النشاطات البركانية حيث أنها عبارة عن فوهة بركان خامد، انسدت وتجمعت فيها المياه مثل: بحيرة تانا في أثيوبيا، وبحيرة توبا في سومطره.

4) الجليدية:

وهي البحيرات التي تكونت بفعل الجليد، وذوبان مياهه خلال الفترات الدافئة، وتجمعها في بحيرات. مثل: البحيرات الخمس في أمريكا الشمالية وبحيرات فنلندا.

5) الصناعية:

هي البحيرات التي صُنِعت من قبل الإنسان للسيطرة على الفيضانات، ولعمليات الري، والملاحة، أو للأغراض الترفيهية مثل: بحيرة ناصر على نهر النيل والبحيرة الصناعية في حديقة الملك فهد في الطائف التي تبلغ مساحتها 7200 م^2. والبحيرات الصناعية في منتزه الملك فهد بالدمام بمساحة 28000 م^2 وغيرها.

تكثر البحيرات في العروض العليا الشمالية والجنوبية لأسباب منها:

- انخفاض درجات الحرارة ومعدلات التبخر.
- توافر المياه، وتعدد مصادرها.

وتتميز البحيرات في هذه المناطق بأنها عميقة، ومياهها عذبة.

تقل البحيرات في العروض الحارة والجافة بسبب:

- قلة تساقط المطر.
- ارتفاع معدلات التبخر.

ويعيبها أنها ضحلة، ومياهها مالحة.

ماء البحيرة:

يختلف ماء البحيرة بخصائصه باختلاف مواقعه وطبيعة تربة البحيرات. ويدرّس ماء البحيرة من حيث التوازن المائي والتركيب الكيمياوي.

1) التوازن المائي: تتغذى البحيرات بمياه الهطل والتكاثف ومياه الأنهار التي تصب فيها والمياه الجوفية المتسربة إليها. وتفقد مياهها بالتبخر والجريان النهري منها والترشح الجوفي والاستثمار الاقتصادي إن وجد. ومجموع هذه العناصر تكوّن التوازن المائي. ويمكن حذف الماء النهري الخارج من البحيرة، من هذه المعادلة إن كانت البحيرة مغلقة.
2) كيمياء البحيرة: تختلف خصائص الماء كيميائياً بشدة، وذلك لأنها نتاج التوازن الرطوبي والحراري وطبيعة التربة التي تقبع فيها ونوعية المياه الواردة إليها سطحياً وباطنياً. فتراوح ملوحتها بين 30ملغ/ل (أعذب المياه) و300غ/ل (الماء الأجاج). وتقسم البحيرات كيمياوياً إلى:

- البحيرات الكلورية المالحة: وهي غنية بالمركبات الملحية الكلورية، مثل كلور الصوديوم، وكلور الكلسيوم وكلور المغنزيوم وكلور البوتاسيوم. وتكثر في المناطق الصحراوية والجافة كبحيرات الشطوط في المغرب العربي وبحيرة سبخة الجبول في سورية، وبركة قارون في مصر.

- البحيرات الكبريتية (السلفاتية المرة – المالحة): ومن أبرز أملاحها كبريتات الصوديوم وكبريتات الكلسيوم وكبريتات المغنزيوم.
- البحيرات الكربونية: تشاهد في المناطق الأكثر رطوبة لاسيما في السهوب وتحتوي على كميات مهمة من الصود أو المركبات الكربونية المختلفة.

التقسيم الهيدرولوجي للبحيرات:

من التصنيفات التي تلقى رواجا لدى دارسي المياه البحيرية تلك التي اعتمدن على أساس الأملاح الذائبة وعلى أساس حراري وهي مبينة في الجدول التالي اختصارا:

تصنيف على أساس الأملاح الذائبة	تقسيم أساسه الحرارة
بحيرات صودية: تحتوي كميات كبيرة من مركبات الصودا.	البحيرات المدارية الحارة: حرارة مياهها موجبة طول أيام السنة.
بحيرات مالحة سولفاتية: وتنتشر في البيئات الجافة مياهها مكونة من محاليل كبريتية مختلفة طعمها مالح ممزوج بمرارة.	بحيرات المنطقة المعتدلة: تتدنى درجة حرارة مياهها بالإتجاه نحو الأعماق كما تتغير فصليا.
بحيرات كلورية: مثل البحيرات السولفاتية تنتشر في البيئات الجافة عامة وتحتوي على العديد من العناصر المنحلة كالمغنسيوم والبوتاسيوم.	البحيرات الباردة القطبية وشبه القطبية: تنخفض درجة مياهها عن اربعة درجات مئوية وتتعرض سطوحها للتجمد.

ملوحة مياه البحيرات:

تدعى المياه بالمالحة إذا كانت تحتوي على 2.7 غ في كل لتر ماء وأمثر. ومتوسطة الملوحة إذا اشتمل الماء على مقدار غرام واحد إلى 2.7 غ في كل لتر. ويوصف بالعذب إذا احتوى اللتر من الماء على غرام فأقل. لا يخلو الماء الطبيعي من أملاح كما لا يوجد ماء نقي.

التوزيع الجغرافي للبحيرات:

تنتشر البحيرات في جميع القارات ولكن بنسب مختلفة، حسب المساحة الصخرية، وظروف المناخ، وكميات التهاطل السنوية.

هذا الجدول يبين أهم بحيرات كوكبنا:

البحيرة	الدولة	المساحة: كلم²	العمق/ م	الارتفاع/ م
بحر قزوين	إيران، روسية	438000	1000	26–
سوبيريور	الولايات المتحدة، كندا	82000	307	183
فيكتوريا	تنزانيا، كينيا، أوغندا	68000	79	1185
آرال	روسية	64000	68	48
هورن	الولايات المتحدة، كندا	59500	222	177
متشغن	الولايات المتحدة	58100	266	177
بايكال	روسية	34000	1741	488
تنجنيكا	تنزانيا، كونجو، بورندي	31900	1435	773
تشاد	نيجر، تشاد، نجيريا	30000	7	240
كريت بير	كندا	29000	–	119

البحيرة	الدولة	المساحة: كلم²	العمق/ م	الارتفاع/ م
كريت سيلف	كندا	27000	—	158
نيسا	ملاوي، موزمبيق، تنزانيا	26500	785	471
إيري	الولايات المتحدة، كندا	25900	64	175
وينيك	كندا	25000	27	216
بلكاش	روسية	18800	20	234
أنتاريو	الولايات المتحدة، كندا	18760	225	75
لادوكا	روسية	18120	223	5
أتاباسكا	كندا	11500	—	212
آير	أستراليا	11000	—	12 –

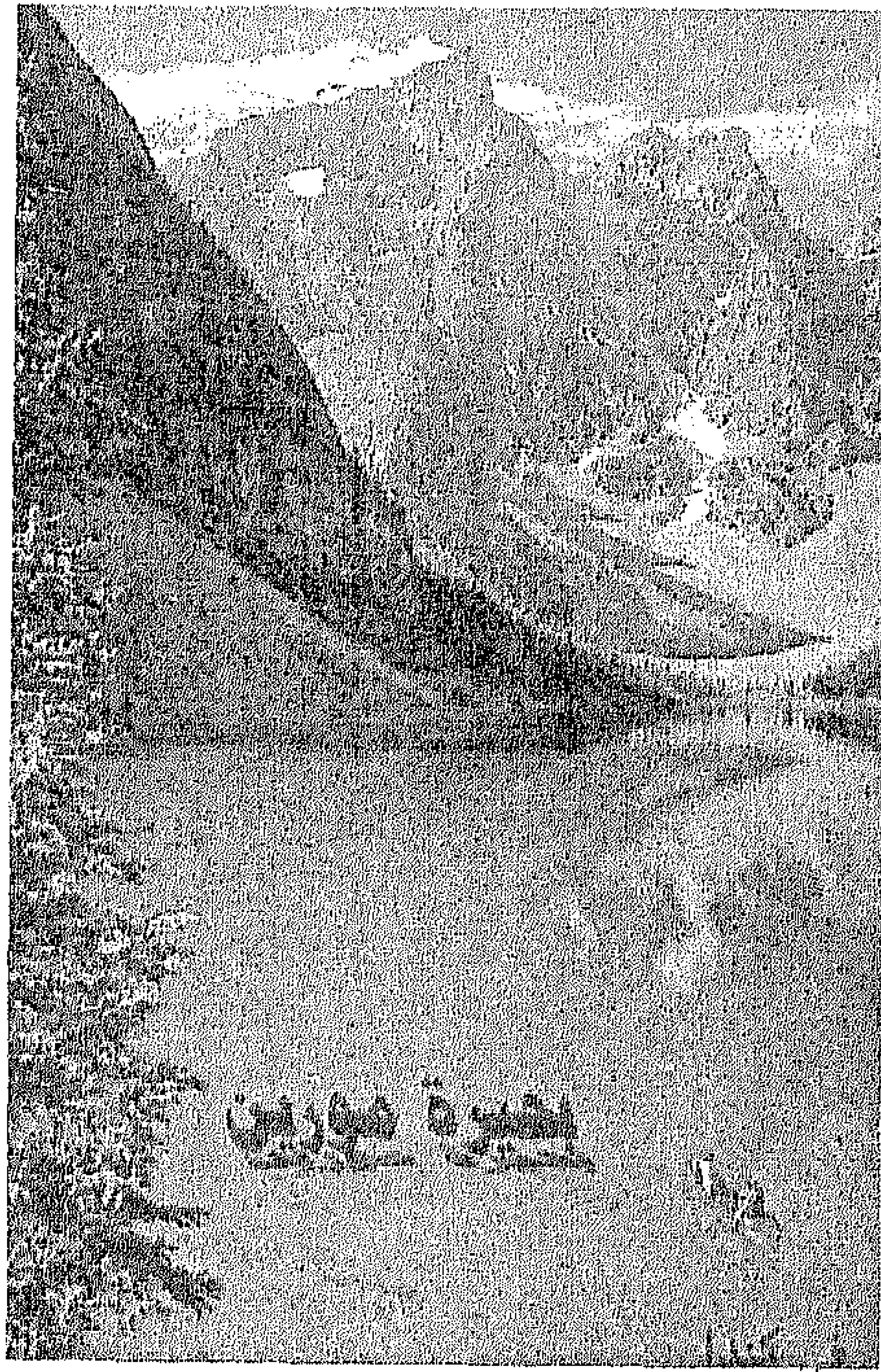
العالم العضوي:

متنوع ويختلف من نموذج بحيري إلى آخر. ويضم المجموعات التالية:

1) العوالق أو البلانكتونات: وهي كائنات حية مجهرية تعيش في كتلة الماء السطحي خاصة وتشمل البلانكتونات النباتية والحيوانية.
2) السابحة (النيكتون): وهي الأرقى تطوراً والأقدر على الحركة والانتقال وتعيش في كل أرجاء البحيرة وأهمها الأسماك.
3) القاعية (البنتوس): وهي عضويات القيعان والأعماق، وهي نباتية وحيوانية، تضم الديدان والرخويات والفطور والأشنيات والبكتريا، والنباتات اللازهرية. ويمكن لبعضها أن يرتفع بفعالية نحو الأعلى.

الأحوال الحرارية:

تكون شديدة الاختلاف بسبب مواقع البحيرات نطاقياً ومحلياً. ويؤثر هذا الاختلاف بشدة في عمليات التبخر والتجمد المائي وعلى فعالية الهطل والنشاط البيولوجي وفعالية العمليات الكيمياوية والفيزيائية في الماء. وتكون التغذية العضوية في البحيرات الدافئة والحارة غير المالحة جيدة والتكاثر والنمو عالي الوتيرة، لأن الأحوال الحرارية ملائمة لذلك. أما في البحيرات الباردة فالفعاليات الحيوية تنشط في أوقات الدفء في حين تكون محدودة النشاط تبعاً لاختلاف درجات الحرارة.



تعد كندا أغنى بقاع العالم بالبحيرات

واعتماداً على اختلاف الأحوال الحرارية قسم العالم فوريل البحيرات إلى عدة أنواع هي:

1. البحيرات القطبية: وحرارة مياهها أدنى من +4 دائماً ويسيطر فيها التطبيق الحراري المعكوس، إذ تتزايد الحرارة في الأعماق وكذلك الكثافة.
2. البحيرات شبه القطبية: وهي كالسابقة، تطبقها الحراري معكوس ولكن حركة المزج الصيفية فعّالة وقد تمزج ماء البحيرة كاملاً.
3. بحيرات العروض المتوسطة: تشبه في تطبقها وكثافتها البحيرات السابقة شتاءً، ولكنها تتسخن في الصيف في الأعلى أكثر من الأسفل، لذا فإن تطبق الحرارة مباشر. أي إن قيم الكثافة تتزايد في الأسفل على خلاف الحرارة. ولكن الربيع والخريف يشهدان عملية مزج مائيّة وحرارية فعّالة.
4. بحيرات العروض شبه المدارية: حرارتها أعلى من +4 دائماً، لذا يسيطر فيها التطبق الحراري المباشر، ولكن فصل الشتاء يشهد مزجاً مائياً قد يكون فعالاً.
5. البحيرات المدارية والاستوائية: حرارتها لا تقل عن 20 درجة عادة والتطبق فيها مباشر دائماً، ولكن قد يشهد الشتاء بعض الاضطراب في حركة الماء.

حركة الماء:

أبرز حركات الماء في البحيرات هي:

1. **الأمواج:** وهي نتاج تأثير قوة الريح المحتكة بسطح البحيرة والدافعة جزيئات الماء في حركة دورانية حول السطح الأفقي لماء البحيرة. وتسعى قوة الثقالة إلى إعادة الجزيئات المرتفعة إلى وضعها الاتزاني السابق. ويختلف ارتفاع الأمواج بحسب سعة البحيرة وعمقها وسرعة الرياح وديمومتها ولكن ارتفاعها لا يزيد على نصف متر عادة.
2. **التيارات:** وتكوّنها الرياح في الطبقة السطحية خاصة، كما تكوّنها كذلك الأنهار الواردة إلى البحيرة أو الخارجة منها، ويمكن أن يكونها هطول الأمطار

العنيف في جزء من البحيرة، وفي جميع هذه الحالات يختلف مستوى ماء البحيرة من مكان إلى آخر فتجري المياه ببطء إلى المكان المنخفض.

أما تيارات الكثافة فتكوّن التيارات المائية الباطنية صعوداً أو هبوطاً حسب تبدل قيم الكثافة بين السطح والقاع، وكثيراً ما تغوص مياه الأنهار الباردة إلى الأسفل لارتفاع كثافتها.

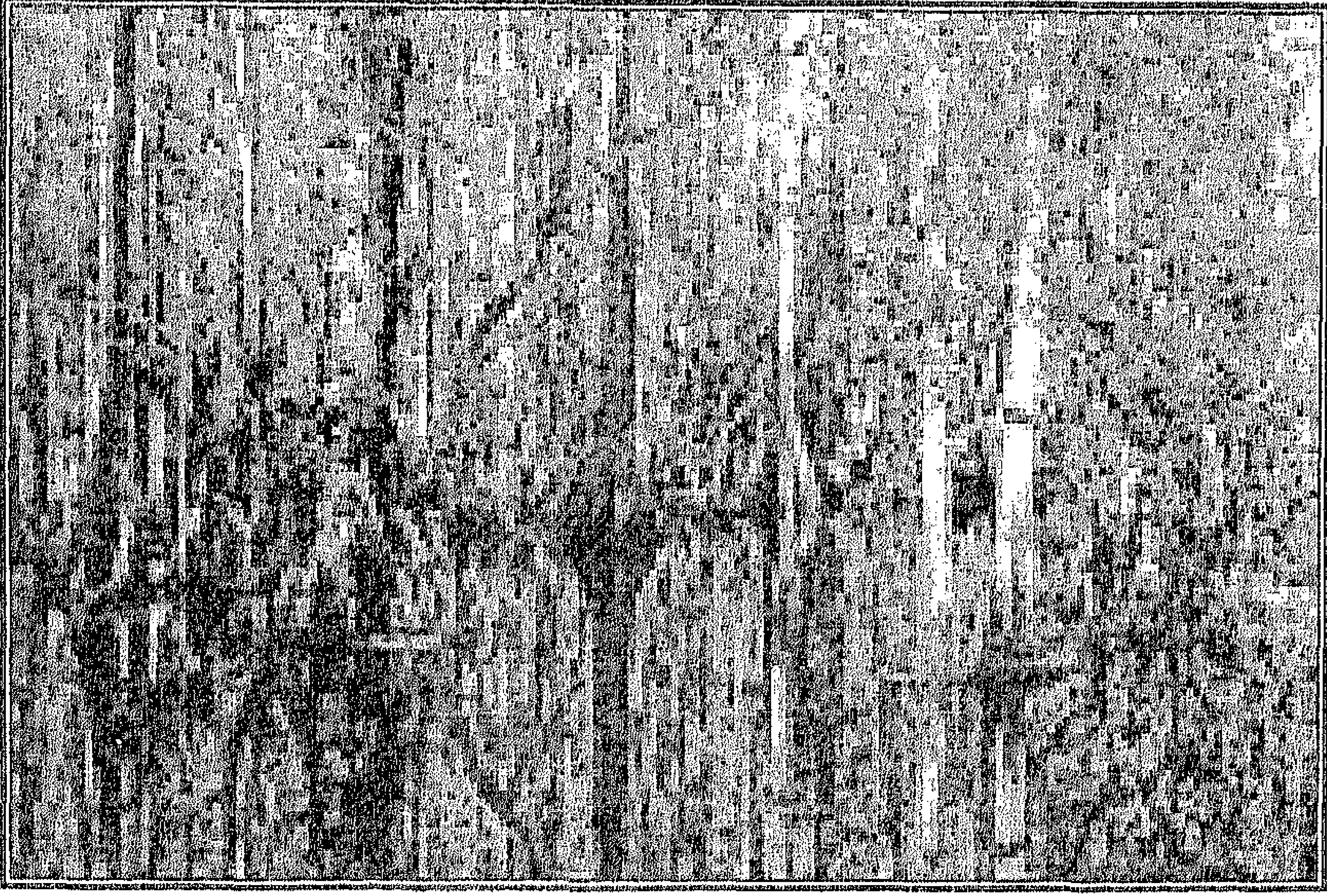
3. ظاهرة السيش Seuche (أو المد البحري): وهي ظاهرة تذبذب مستوى سطح مياه البحيرات. تظهر في البحيرات الكبرى كالبحيرات الكبرى الأمريكية بسبب اختلاف مستوى سطح البحيرة من مكان إلى آخر وذلك بتأثير اختلاف قيم الضغط الجوي في أنحاء البحيرة أو الهطل والرياح. وتعرف النقطة التي يختلف فيها مستوى سطح البحيرة بعقدة السيش.

المستنقعات:

المستنقع (Swamp):

أرض رطبة (مبتلة) تنمو فيها الأشجار والشجيرات وتوجد بها مياه سطحية في جزء من العام. وتوجد المستنقعات في جميع أنحاء العالم في المناطق الساحلية، وبالقرب من الأنهار بطيئة الجريان، وبها نباتات خشبية أكثر من السّبخة.

تعيش في المستنقعات أنواع مختلفة من الحيوانات والنباتات. وتساعد التربة المبتلة الأشجار والشجيرات والنباتات المعترشة وبعض النباتات الأخرى على النمو. وتوجد فيها بِرَك ومجارٍ تعيش فيها الأسماك والضفادع وبعض الزواحف، مثل التماسيح والثعابين والسلاحف، والطيور والحشرات وبعض الثدييات، مثل الدببة والغزلان والأرانب.





وماء المستنقعات إما عذب أو مالح، فالمستنقعات ذات المياه العذبة يتغير فيها مستوى الماء باستمرار، مما يعكس تغيُّراً في سقوط الأمطار. وتحدث بها الفيضانات في فترة معينة من كل عام. أما مستوى سطح الماء في المستنقعات المالحة فيعتمد على مستوى المياه المالحة التي تُغذي المستنقع.

ويُحدِّد زمن فيضان المستنقع وعمق الفيضان نوع النباتات التي تنمو في المستنقع، فينمو الإسفندان الأحمر أو زنبق الماء وبعض النباتات المائية الأخرى في المناطق دائمة الفيضان. وفي المناطق التي تفيض بانتظام، أو في مواسم معينة، ينمو شجر السرو، وشجر الجنبة والإسفندان الأحمر. أما شجر البلوط أو السنديان والدردار فينمو في مسقط الأرض التي تكون مرتفعة قليلاً، حينما يحدث فيضان بسيط. وعندما يكون الفيضان لمدة أطول تنمو نباتات قليلة غير الشجر الكبير على مستوى سطح الأرض. ويتسلق شجر اللبلاب السام، وبعض الأشجار المتسلقة الأخرى، سيقان الشجر، ويتدلى من فروعها الحزاز الأسباني. وتُسمى المناطق المرتفعة من الأرض بالروابي أو التلال، وتبقى مبتلة ولكنها غير مغمورة. وتنمو فيها الأشجار والشجيرات والسرخس والكرم والأزهار البرية، كما تُغطي الطحالب والأشنة العديد من سيقان الأشجار.

ومستنقعات المانجروف مثال لمستنقعات المياه المالحة. تقع مستنقعات المانجروف على طول سواحل البحار المدارية، وسميت باسم أشجار المانجروف التي تنمو في هذه المناطق. وتعيش فيها السرطانات اللاهية وسمك السالمون والبجع والقرود ذات الأنوف الطويلة والحلزونات والثعابين. وتوجد بالمستنقعات مياه غنية بالمواد العضوية، وتكون صالحة لحياة الأسماك والمحار التي تعيش حياة النضوج في البحار الكبيرة. وتقل في مستنقعات المانجروف قوة الأمواج التي تضرب الساحل خلال العواصف الاستوائية العنيفة. وتوجد مستنقعات مانجروف كثيفة على طول الساحل الشمالي لأستراليا، وفي جزيرة سومطرة في إندونيسيا، وفي دلتا نهر الجانج في بنغلادش، ونهر النيجر في نيجيريا.

جغرافية البحار والمحيطات Oceanography:

يتألف اصطلاح (علم البحار والمحيطات – الاقيانوجرافيا) من مقطعين مشتقين من اللغة اليونانية هما Ocean وتعني البحر الذي يحيط بالأرض أو البحر المحيط، ويطلق عليه باليونانية Okeano. أمّا كلمة Graphy فتعني

وصف الأرض. على ذلك فإن تعبير اقيانوجرافيا يقصد به الوصف العام للبحار والمحيطات. وقد يعبر عنها بجغرافية البحار والمحيطات.

وتهتم جغرافيا البحار والمحيطات بدراسة الخصائص الطبيعية لمياه البحار (حرارة المياه وحركة الأمواج والمد والجزر والتيارات البحرية)، وخصائصها الكيميائية (الملوحة والكثافة)، والخصائص البيولوجية (الكائنات الحية التي تعيش في المياه).

تشغل البحار والمحيطات نسبة أكثر من 97٪ من مساحة المسطحات المائية فوق سطح الأرض.

تشغل البحار حوالي 10 ٪ من مساحة الأرض ، وهي مسطحات مائية صغيرة المساحة ، وقليلة العمق نسبياً.

وتقسّم إلى أنواع عديدة من أبرزها:

1. **البحار المفتوحة:**

وهي البحار التي تتصل بالمحيطات بفتحاتٍ واسعةٍ نسبياً مثل: بحر العرب، وبحر الشمال.

2. **البحار شبه المفتوحة:**

وهي البحار التي تتصل بالمحيطات بفتحات ضيقة مثل: البحر الأحمر.

3. **البحار المغلقة:**

وهي البحار التي يحيط بها اليابس من جميع الجهات، ومن ثم فهي أشبه بالبحيرات إلا أنها أكبر منها مساحةً. مثل: البحر الميت.

تضاريس قيعان البحار والمحيطات:

إن قيعان البحار والمحيطات ليست مستوية كما كان يعتقد في الماضي، بل إنها تتضمن كثيراً من المظاهر التضاريسية التي لا تختلف عن المظاهر المألوفة لنا على اليابس، إلا في بعض أشكالها الخارجية، وأنواع التكوينات الرسوبية التي تغطيها؛ وذلك بسبب اختلاف العوامل التي تؤثر فيها.

تتأثر تضاريس قاع المحيط بالتالي:

- حركات المياه ونسبة ملوحتها.
- نوع الكائنات الحية، والرواسب التي توجد بها.
- الحركات الباطنية.

اهم المظاهر التضاريسية التي يمكن تمييزها في قيعان البحار والمحيطات:

- الرف القاري "الرصيف القاري": وهو كل المناطق الضحلة المجاورة لليابس مباشرة، والتي لا يزيد عمقها على 200 م. ويتميز الرف القاري بأن الانتقال بينه وبين اليابس يحدث بشكلٍ تدريجي بينما يحدث الانتقال بينه وبين قاع المحيط بشكل فجائي وسريع.

الرفوف القارية هي غالباً أغنى مناطق البحار بالثروة السمكية، لأن الأسماك تلجأ إليها، وتتكاثر فيها بسبب كثرة ما ينمو فيها من المخلوقات العضوية، كما قد تحتوي الرفوف القارية على ثروات نفطية ومعدنية كبيرة.

- المنحدر القاري: وهو المنحدر الشديد الذي ينتهي عنده الرف القاري من ناحية البحر، ويبدأ من خط عمق 200 م، ويستمر في انحداره الشديد حتى يصل إلى العمق السائد في قاع البحر أو المحيط، وهو فقير في المخلوقات الحية والثروات السمكية.

- الجبال المحيطية: وهي عبارة عن سلاسل جبلية تمتد تحت سطح الماء لمسافاتٍ طويلةٍ جداً، وتوجد هذه السلاسل في نطاق ضخم جداً يمتد في وسط المحيط الأطلسي، والمحيط الهادي، والهندي.
- الأخاديد و(الخوانق البحرية): وهيَ عبارة عن وديان طولية شديدة العمق، نشأت بسبب الصدوع والانكسارات التي تقطع قاع المحيط في أماكن مختلفة، وأغلب هذه الأخاديد تقع في قاع المحيط الهادي. وأعمق أخدود محيطي يعرف باسم أخدود ماريانا (خانق ماريانا). ويصل عمقه إلى حوالي 11000م تحت سطح البحر.

1) اهمية علوم البحار والمحيطات في الحياة العملية:

تتلخص أهمية علوم البحار والمحيطات في الحياة العملية فيما يلي:

أ) استغلال بعض الكائنات البحرية:

1. الأسماك والثدييات البحرية:

تساهم الثروة السمكية في تطور الاقتصاد البشري، وتتركز المصايد العالمية أمام سواحل شمال شرق الولايات المتحدة الأمريكية، والسواحل الغربية لكندا والساحل الغربي لأمريكا الجنوبية، والسواحل الشرقية لأسيا.

2. الطحالب

يعتمد عليها غذاء رئيسياً في بعض الدول مثل اليابان، كما يستخرج منها مادة الأجار Agar، والالجين Algin، وتستخدم الأولى في صنع أطباق الحلوى (الجيلي) والمسهلات الطبية ومركبات السلفا والفيتامينات. وتستخدم مادة الالجين (التي تتميز بلزوجتها وعدم مساميتها) في صناعة المواد والغطاءات غير المنفذة للمياه.

3. الإسفنج:

وهو حيوان بحري يعيش في المياه المدارية وشبه المدارية الدفيئة، والتي تتميز بارتفاع نسبة الملوحة بها، ويعيش في المياه الضحلة فيما بين 10 إلى 50 متراً. وتتركز المصايد الرئيسية للإسفنج ببعض سواحل الولايات المتحدة الأمريكية واليونان وجزر الهند الغربية وتونس ومصر.

4. اللؤلؤ:

ينتشر في المياه الدفيئة، التي ترتفع فيها نسبة الملوحة، وتمثل أشهر مناطق تكاثره في مياه البحر الأحمر، والخليج العربي، وبحر اليابان.

ب) استخلاص بعض الأملاح والمعادن

1. ملح الطعام:

يُعد ملح الطعام (كلوريد الصوديوم) من أهم الأملاح الاقتصادية، التي يستخرجها الإنسان من مياه البحار. وتعد المياه الساحلية الضحلة، لكل من جزر الهند الغربية واليونان والصين والمكسيك ومصر من أغنى المناطق لاستخلاصه من مياه البحر.

2. اليود:

وهو من أندر المعادن اللافلزية، وتعد الحيوانات البحرية الإسفنجية والمرجانية وبعض الأعشاب البحرية المصدر الرئيسي لليود، حيث يُختزن في أنسجتها بكميات كبيرة.

3. البروم:

ويستخلص من مياه البحار، ويستخدم في صناعة مطافئ الحريق، والمواد الكيميائية الفوتوغرافية، والأصباغ، والمواد الكيميائية الحربية.

4. زيت البترول:

ويتكون تبعاً لاندثار الكائنات البحرية وتراكمها فوق قاع البحر، ثم تُحلل هياكل هذه الكائنات تدريجياً إلى تلك المادة التي تشكل الحضارة البشرية الحديثة. ويتمثل توزيعه الجغرافي في الخليج العربي وخليج السويس، وبعض أجزاء الساحل الشمالي لأفريقيا، والبحر الأسود، وبحر قزوين، وبحر ماركيبو (فنزويلا)، وسواحل تكساس على خليج المكسيك.

ج) إعذاب مياه البحر:

وتجري عملية إعذاب مياه البحر بعدة طرق منها:

1. التجميد:

أي تبريد مياه البحر فجأة، ومن ثم تنفصل بلورات الثلج عن بلورات الملح، ثم يصهر الثلج للحصول على المياه العذبة.

2. التقطير:

وذلك باستخدام الطاقة الشمسية أو مواد الوقود (الفحم والبترول).

3. التحليل الغشائي الكهربائي:

وذلك بتمرير تيار كهربائي في أو ان تحتوي على مياه البحر بين أقطاب كهربائية، تعمل على استخلاص الملح من مياه البحر، ويصبح الماء بعد ذلك عذب المذاق.

ولا تتوقف أهمية جغرافية البحار والمحيطات على ما تساهم به في الحياة العملية، بل تمتد أهميتها للحياة العلمية أيضاً، إذ تهتم بدراسة نشأة البحار والمحيطات وخصائصها الطبيعية. كما يتضح مما يلي:

2) نشأة البحار والمحيطات:

تضاربت آراء الباحثين في تفسير كيفية توزيع اليابس والماء وتصور بداية ميلاد الأحواض المحيطة ثم امتلائها بمياه البحر، ويعزى هذا التضارب إلى أن نشأة الأحواض المحيطية ترجع إلى أزمنة فلكية بعيدة، تصل إلى اكثر من 1300 مليون سنة، في حين لا يتجاوز عمر الإنسان على سطح الأرض المليون سنة الأخيرة.

واُقترحت حتى اليوم عشرات النظريات التي تحاول تفسير نشأة الأحواض المحيطية من جهة وكيفية توزيع اليابس والماء بصورته الحالية من جهة أخرى. ويدل تعدد هذه النظريات على انه لم تُعرف بعد الصورة الحقيقية، التي تكونت بها قشرة الأرض الخارجية التي ساهمت في تشكيل ظواهرها الكبرى.

ومن أهم النظريات التي قيلت في هذا الشأن:

- **نظرية زحزحة القارات Theory Continental Drift:**

رجح الفريد فاجنر Alfred Wagner سنة 1914، أن قارات العالم اليوم كانت خلال العصر الكربوني كتلة واحدة متماسكة تعرضت للتصدع والانشطار، ونتج عن ذلك وجود قارات جديدة، أخذت هذه القارات تتحرك أفقياً في عدة اتجاهات إلى أن استقرت في أماكنها المعروفة الآن. وقد اعتمد فاجنر عند بناء هذه النظرية على تطابق الطبقات الجيولوجية لليابس وتطابق الحفريات على كل من الساحل الشرقي والغربي للمحيط الأطلسي. وتشابه الشكل بين الساحل الغربي لأفريقيا والساحل الشرقي لأمريكا الجنوبية مما يوحي بأنهما كانا متلاصقين. ومع ذلك لم يشر فاجنر إلى طبيعة العوامل التي أدت إلى تزحزح القارات في نهاية

العصر الكربوني، وعدم تزحزح قارات العالم الحالية بنفس الصورة التي حدثت في الماضي.

وقد أكد الجيولوجيون أن القارات الحالية كانت خلال العصر الكربوني Carboniferous، عبارة عن كتلة كبرى هي كتلة بنجايا Pangaea، كما يوضح.

وعندما اقترب العصر الترياسي Triassic من نهايته، بدأت كتلة بنجايا في التمزق وأخذت أجزاؤها في الابتعاد عن بعضها بعضاً بصورة تدريجية وبطيئة. وأدى هذا التمزق إلى ظهور قارتين عظيمتين، كما يتضح من.

أ) لوراشيا Laurasia، وكانت تضم قارات آسيا وأوروبا وأمريكا الشمالية.
ب) جندوانا Gondwana، وكانت تشتمل على قارات إفريقيا وأمريكا الجنوبية واستراليا.

وبنهاية الزمن الثاني الميزوزوي Mesozoic (المتمثل في عصر الكريتاس Cretaceous) وبداية الزمن الثالث (الكاينزوي Canozoic)، واصلت القارات تباعدها عن بعضها بعضاً، حتى أخذت وضعها الحالي.

وبظهور الأحواض المحيطة بدأت تمتلئ بالمياه الأولية Juvenile Water، ويقصد بها تلك المياه، التي ظهرت لأول مرة في قاع البحار والمحيطات ومصدرها باطن الأرض أو الصخور البركانية التي تُقذف مع انبثاق المصهورات البركانية.

1. الأحواض المحيطية:

تطلق كلمة حوض Basin، في الجيولوجيا، على كل مسطح منخفض، محاط بأراضٍ مرتفعة. وفي علم الرسوبيات، حوض الإرساب Sedimentary Basin، منطقة واسعة، تتراكم فيها طبقات غليظة من الرواسب. وحوض التصريف Drainage basin، منخفض، تنصرف مياهه عبر شبكة من القنوات

التصريفية. وفي علم البحار والمحيطات، حوض المحيط Ocean Basin، هو مسطح قاع المحيط المنخفض، نسبة إلى القارات حوله.

حظيت تضاريس المرتبة الأولى باهتمام الإنسان، منذ القدم. وإن اقتصر الاهتمام، في بداية الأمر، على الاستكشاف والوصف، فقد انصب، في مرحلة متقدمة، على محاولة التعليل والتفسير. وبما أن الأحواض المحيطية، هي الظاهرة التضاريسية الأوسع، والأكثر سيادة على سطح الأرض، نسبة إلى القارات؛ فقد حظيت باهتمام كبير من العلماء، في محاولة تفسير نشأتها، وعوامل تشكُّلها. ونظراً إلى قدم تضاريس المرتبة الأولى، من أحواض محيطية وقارات، فإنه لم يكن من الممكن النظر إلى نشأتها، بمعزل عن النظريات المتعددة، التي تحاول تفسير نشأة الأرض.

أدى قدم الظواهر التضاريسية الكبرى لسطح الأرض، إلى اندثار شواهد نشأتها، وشواهد العمليات المصاحبة لذلك. لذا، كان لسعة خيال المهتمين بهذا الأمر، في البداية، أثرٌ واضحٌ في التفسيرات الاجتهادية لنشأة الأحواض المحيطية.

أتاح التقدم العلمي، والثورة الصناعية، وامتداد النفوذ الاستعماري لبعض الدول إلى قارات مختلفة، لبعض المهتمين بالعلوم، الطبيعية والحيوية، التجول في عدد من القارات، والأراضي المتباعدة. وشاع منهج المقارنة، والبحث عن مدى التشابه والاختلاف في التراكيب الصخرية، والظواهر التضاريسية القديمة، والحفريات بين أصقاع اليابسة. ومع ذلك، وعلى الرغم من تقدم النقل البحري، وكثرة الأساطيل، التي كانت تجوب البحار؛ فقد ظل قاع المحيط مجهولاً، وبُنيت المعرفة عنه على ظنون، تبين، فيما بعد، عدم دقتها. واقتصرت المعرفة البحرية على المناطق الساحلية، بل إن خطوط النقل البحري، كانت في معظمها تسير في المحيطات، موازية لخط الساحل.

جنحت بعض النظريات إلى محاولة ربط نشأة الأحواض المحيطية، وتوزع اليابس والماء، بقوى خارجية، كقوة جاذبية القمر، أو بعض الأجرام السماوية

الأخرى. وتعدد النظريات، التي تحاول تفسير ظاهرات سطح الأرض الكبرى، نابع من اندثار شواهد تفاصيل العمليات، التي شكلت قشرة الأرض، وتكونت خلالها ظواهرها التضاريسية.

ولا يجد المؤمن ما يطمئن إليه في هذا المجال سوى قول الحق تبارك وتعالى: ﴿ثُمَّ اسْتَوَى إِلَى السَّمَاءِ وَهِيَ دُخَانٌ فَقَالَ لَهَا وَلِلأَرْضِ ائْتِيَا طَوْعاً أَوْ كَرْهاً قَالَتَا أَتَيْنَا طَائِعِينَ﴾ (فصلت: 11)، قال المفسرون: "دخان: أي بخار مرتفع"؛ وهو بخار الماء المتصاعد حين خلقت الأرض، وقال القرطبي: "ثم"، ترجع إلى نقل السماء من صفة الدخان إلى حالة الكثافة، وقوله تعالى: ﴿أَوَلَمْ يَرَ الَّذِينَ كَفَرُوا أَنَّ السماوات وَالأَرْضَ كَانَتَا رَتْقاً فَفَتَقْنَاهُمَا وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ أَفَلا يُؤْمِنُونَ﴾ (الأنبياء: 30)، قال المفسرون: رتقاً، أي سداً، وفتق السماء، كانت لا تمطر فأمطرت، وفتق الأرض، كانت لا تنبت فأنبتت؛ وقيل رتقاً كان الجميع متصلاً بعضه ببعض، متلاصق، متراكم بعضه فوق بعض، ففتق هذه من هذه فجعل السماوات سبعاً والأرض سبعاً، وفصل بين السماء الدنيا والأرض بالهواء، فأمطرت السماء وأنبتت الأرض. وقد خلق الله السماوات والأرض في ستة أيام، قال تعالى: ﴿إِنَّ رَبَّكُمُ اللَّهُ الَّذِي خَلَقَ السماوات وَالأَرْضَ فِي سِتَّةِ أَيَّامٍ ثُمَّ اسْتَوَى عَلَى الْعَرْشِ يُغْشِي اللَّيْلَ النَّهَارَ يَطْلُبُهُ حَثِيثاً وَالشَّمْسَ وَالْقَمَرَ وَالنُّجُومَ مُسَخَّرَاتٍ بِأَمْرِهِ أَلا لَهُ الْخَلْقُ وَالأَمْرُ تَبَارَكَ اللَّهُ رَبُّ الْعَالَمِينَ﴾ (الأعراف: 54)، وقد فصل سبحانه وتعالى ذلك في قوله: ﴿قُلْ أَئِنَّكُمْ لَتَكْفُرُونَ بِالَّذِي خَلَقَ الأَرْضَ فِي يَوْمَيْنِ وَتَجْعَلُونَ لَهُ أَنْدَاداً ذَلِكَ رَبُّ الْعَالَمِينَ(9) وَجَعَلَ فِيهَا رَوَاسِيَ مِنْ فَوْقِهَا وَبَارَكَ فِيهَا وَقَدَّرَ فِيهَا أَقْوَاتَهَا فِي أَرْبَعَةِ أَيَّامٍ سَوَاءً لِلسَّائِلِينَ﴾ (فصلت: 9– 10). والثابت أنه سبحانه وتعالى خلق الأرض أولاً، ثم خلق السماوات، قال تعالى: ﴿هُوَ الَّذِي خَلَقَ لَكُمْ مَا فِي الأَرْضِ جَمِيعاً ثُمَّ اسْتَوَى إِلَى السَّمَاءِ فَسَوَّاهُنَّ سَبْعَ سماوات وَهُوَ بِكُلِّ شَيْءٍ عَلِيمٌ﴾ (البقرة: 29). وأما قوله تعالى: ﴿ءَأَنْتُمْ أَشَدُّ خَلْقاً أَمِ السَّمَاءُ بَنَاهَا(27) رَفَعَ سَمْكَهَا فَسَوَّاهَا(28) وَأَغْطَشَ لَيْلَهَا وَأَخْرَجَ ضُحَاهَا(29) وَالأَرْضَ بَعْدَ ذَلِكَ دَحَاهَا(30) أَخْرَجَ مِنْهَا مَاءَهَا وَمَرْعَاهَا﴾

(النازعات: 27 – 31)، فإن دحو الأرض وهو مُفَسر بقوله تعالى: ﴿أَخْرَجَ مِنْهَا مَاءَهَا وَمَرْعَاهَا﴾. كان بعد خلق السماوات؛ ولكن خلق الأرض كان قبل ذلك.

يقدر عمر الأرض بأكثر من 4 بلايين سنة؛ وذلك بناءً على ما وجد، حتى الآن، من شواهد في القشرة الأرضية. ويشير بعض النظريات إلى أن الأرض، كانت كرة من الغاز، ثم بردت، وتصلبت. وأن نواة الأرض الصلبة، تكونت أولاً، ثم صارت تجذب إليها المواد الأثقل فالأثقل؛ فتكوّن حولها عدد من الأغلفة، التي تتناقص كثافتها نحو الغلاف الخارجي. وتراوح كثافة النواة الداخلية للأرض بين 13.5 و15 جراماً، في السنتيمتر المكعب؛ وينخفض هذا الرقم، ليراوح في الوشاح، بين 3.3 و6 جرامات، في السنتيمتر المكعب. وفي القشرة الأرضية، تصل كثافة القشرة المحيطية إلى 3.25 جرامات، في السنتيمتر المكعب؛ ولا تزيد كثافة القشرة القارية على 2.7 جرام، في السنتمتر المكعب.

تطور الفكر العلمي في نشأة الأحواض المحيطية:

عديدة هي النظريات، التي حاولت تفسير توزع اليابس والماء، وتكون الأحواض المحيطية. ولكن البحث، سيقتصر على أكثرها قبولاً، عند نشرها، أول مرة.

1. النظرية التتراهيدية:

من أولى المحاولات، التي وجدت بعض القبول، في وقتها، لتفسير تكوّن الأحواض المحيطية، وتوزع اليابس والماء. نظرية الباحث البريطاني، لوذيان جرين Lothian Green، التي قال بها، عام 1875، والمشهورة باسم النظرية التتراهيدية Tetrahedral Hypothesis. تقول النظرية، إن الأرض تأخذ شكل هرم ثلاثي، رأسه في الجنوب، وقاعدته في الشمال. وتشغل القارات أركان الهرم وحافاته البارزة، في حين تشغل المحيطات جوانبه المسطحة. ولأن هذه النظرية، فسّرت الشكل العام، الذي تأخذه معظم القارات، التي تبدو على شكل مثلثات، رؤوسها في الجنوب،

وقواعدها في الشمال، وخاصة أفريقيا والأمريكتين؛ فقد لاقت قبولاً لدى الباحثين، عند ظهورها.

زادها قبولاً، أنها توافق إحدى النظريات الهندسية المعروفة، التي تقول إن النسبة بين مساحة قشرة أي جسم وحجمه، تنخفض إلى حدها الأدنى، إذا كان الجسم كروياً. وعند تناقص حجم الجسم، فإن شكله يأخذ في التغير، للمحافظة على مساحة قشرته؛ وتتغير، تبعاً لذلك، النسبة بين مساحة قشرته وحجم جسمه. وآخر شكلٍ، يمكن أن يتحول إليه، لضمان أكبر نسبة بينهما، هو الهرم الثلاثي.

وقد اعتقد أصحاب هذه النظرية، أن الأرض، في بداية تكونها، بردت، وتقلص باطنها؛ ما أدى إلى تشكّل قشرتها بشكل الهرم الثلاثي؛ كانت القارات على حافاته البارزة، وشغل الماء أسطحه المنخفضة. وقد استشهد أصحاب النظرية، لتأييد نظريتهم، بالشواهد الآتية:

أ. المسطحات اليابسة، تأخذ شكل مثلثات مختلفة المساحة، رؤوسها نحو الجنوب، وخاصة أمريكا الشمالية، وأمريكا الجنوبية وأفريقيا، وأوراسيا.

ب. تتركز المحيطات في النصف الجنوبي. ويشغل اليابس معظم النصف الشمالي.

ج. كل مسطح يابس، مهما كانت مساحته، يقابله مسطح مائي، على الجهة الأخرى من الأرض. ولا يشذ عن هذه القاعدة سوى موضعين على الأرض: أحدهما في جنوب الأرجنتين، يقابله، على الجهة الأخرى، جزء من شمال الصين؛ والآخر في جزء من شبه الجزيرة الإيبيرية، تقابله، على الجانب الآخر، جزيرة نيوزيلندا.

وعلى الرغم من القبول المبدئي، الذي حظيت به النظرية التراهيدية، إلا أن اعتراضات جوهرية، وجهت إليها، من أهمها:

- تعارضها مع بعض الحقائق الجيولوجية، الخاصة بتوازن القشرة الأرضية.

– تجاهلها لأثر دوران الأرض حول نفسها.

وقد أسهمت هذه الاعتراضات، إضافة إلى التقدم العلمي، وظهور نظريات أخرى، في التخلي عن تلك النظرية والاهتمام بها، أو أدت محاولة تعديلها. وممن حاول تعديل بعض أفكار النظرية، الباحث البريطاني، لابورث Lapworth، إذ قال إن الأرض حين بردت، تجعدت قشرتها تجعداً عشوائياً، ولم تأخذ شكلاً هندسياً معيناً. ويرى العالم الفرنسي، زولاس Sollas،أن تكون الأحواض المحيطية الناتج من تجعد سطح الأرض، كان سببه اختلاف الضغط الجوي الواقع على السطح، من مكان إلى آخر، عند بداية تكون الأرض، قبل أن تتصلب قشرتها.

2. نظرية انسلاخ القمر:

في محاولة لتفسير نشأة الأحواض المحيطية، قال تشارلز دارون Charles Darwin، عام 1878، بنظرية انسلاخ القمر من الأرض. وقد لقيت نظريته قبولاً واسعاً، في بداية الأمر. وازداد قبولها بين الفلكيين، أصحاب نظرية النجوم التوأمية Binary Star Theory وخاصة الفلكي الأمريكي، راسيل Russell (1877 – 1957)، صاحب نظرية التطور النجمي، أو الانشطار النجمي Stellar Evolution. وقد أيده كل من ليتلتون Lyttleton، وروس جن Ross Gunn، وبانرجي Banerje، وفيشر Fissher. ويرى هؤلاء الفلكيون، أن من المألوف وجود مجموعات من الأجرام السماوية Star Clusters، التي يدور بعضها حول بعض، في فلك واحد؛ والتي تطورت، في الوقت نفسه، من أصل واحد. ومألوف لديهم، كذلك، أن يتبع كلاً من كواكب المجموعة الشمسية أقمار صغيرة. وقد يكون معظمها منشطراً، في الأصل، عن الكوكب الأم.

لذا، فقد أيد هؤلاء الفلكيون نظرية دارون، القائلة بانشطار القمر عن الأرض. وكانوا يرون، أن القمر، الذي يؤثر في حركة المد والجزر لمياه المحيطات، في الوقت الحاضر، له علاقة وثيقة بتكوّن المحيطات على سطح الأرض. وقد انفصل عنها، نتيجة لعملية جذب، تعرضت لها، شبيهة بتلك العملية، التي أسفرت عن

تكون كواكب المجموعة الشمسية. وقد اقتطع القمر من الأرض، في المنطقة، التي يشغلها، اليوم، حوض المحيط الهادي؛ وأصبح تابعاً لها، يدور حولها؛ مثلما تدور كواكب المجموعة الشمسية حول الشمس.

وقد أجريت حسابات كثيرة لتقدير قطر القمر، وعرض المحيط الهادي؛ تدعيماً للنظرية، وإثباتاً لصحتها. ومن الشواهد، التي أوردت لتأييد النظرية، ما يأتي:

أ. إن حوض المحيط الهادي، خلافاً للمحيطين الآخرين، يأخذ شكلاً دائرياً، وخاصة داخل المنحدر القاري، مما يلي البحر.

ب. إن قاع المحيط الهادي، خلافاً للمحيطات الأخرى، تغطيه طبقة صخرية من البازلت، مركبة من السليكا والماغنسيوم، سيما Sima؛ في حين، تمتد فوق هذه الطبقة، طبقة أخرى من الصخور الجانبية، المركبة من السليكا والألمنيوم، سيال Sial، فوق الجزء الأكبر من قاعَي المحيطين الآخرين، الأطلسي والهندي.

ج. إن أبعاد المحيط الهادي، توافق تماماً الحسابات الفلكية لأبعاد القمر، بشكله المستدير، الذي يمكنه، بسهولة، أن يملأ الفراغ، الذي تشغله مياه المحيط الهادي، حالياً، بطبقة صخرية، سمكها 60 كيلومتراً.

ويقول أصحاب هذه النظرية، إن عملية انسلاخ القمر من الأرض، أدت إلى تكون حوض المحيط الهادي. كما نجم عن حركات التصدع والتشقق العظمى في قشرة الأرض، التي صاحبتها، والتي أعقبتها، تكسر القشرة الأرضية. وأسفرت حركة دوران الأرض حول نفسها، ودورانها حول الشمس، عن اتساع هذه الصدوع؛ ما نتج منه، في النهاية، تكون الأحواض المحيطية.

وفقاً لهذه النظرية، فإن الأحواض المحيطية، بشكلها الحالي، تكونت خلال مراحل تكوّن الأرض الأولى. أي أنها تكونت قبل أكثر من 4 بلايين سنة.

لكن هذه النظرية، واجهت عدة انتقادات؛ من أهمها:

أ. أعظم سمك للقشرة القارية، التي تزعم النظرية انتزاعها بين اليابسين، الآسيوي والأمريكي، لتكوين حوض المحيط الهادي، لا يتجاوز 45 كيلومتراً؛ في حين تقول بانتزاع طبقة صخرية، بسمك 60 كيلومتراً، لتكوين القمر، بحجمه الحالي.

ب. كثافة القمر، البالغة 3.34 جرامات، في كل سنتيمتر مكعب، تتجاوز كثيراً كثافة صخور السيال، المكونة للقارات، والتي لا تتجاوز كثافتها 2.7 جرام/سم^3.

وللخروج من هذين الاعتراضين، قال مؤيدو النظرية، إن الكتلة الصخرية، التي انسخلت من الأرض، وتكون منها القمر، لم تكن من صخور السيال فقط، بل ضمت إليها، كذلك، جزءاً من طبقة السيما، التي تحتها. وهذا الجزء، يغطي فارق السمك، ويؤدي رفع متوسط كثافة الصخور؛ لأنها أعلى كثافة من صخور السيال.

الانتقاد الرئيسي لهذه النظرية، هو أن زخم قوة الطرد المركزية، الناتجة من دوران الأرض حول نفسها، وحول الشمس Angular Momentum، لا يمكن أن يؤدي عدم استقرار أو انفصال أجزاء من قشرة الأرض؛ إلا إذا كان الزخم، يفوق كثيراً ما هو عليه حالياً.

وقد نسف وصول الإنسان إلى القمر، وتحليل العينات الصخرية، التي أحضرها رواد الفضاء، هذه النظرية من أساسها؛ إذ تبين اختلاف تركيب صخور القمر وصخور القشرة الأرضية.

3. نظرية تزحزح القارات:

تقوم فكرة تزحزح القارات Continental Drift، على أن قارات العالم، كانت كتلة يابسة واحدة؛ ثم تكسرت، وتحركت القارات إلى مواقعها الحالية. لقد لفت التطابق، بين سواحل المحيط الأطلسي، الشرقية والغربية، أنظار العلماء، وخاصة سواحل أفريقيا وأمريكا الجنوبية. ومنذ أن توافرت خرائط تفصيلية للملاحة البحرية، في هذه المناطق، في منتصف القرن السابع عشر، بدأت تظهر في أبحاث بعضهم، الفكرة القائلة بأن القارتين، كانتا متصلتين. ففي عام 1858، أنجز انطونيو سنايدر Antonio Snider، خريطة للأمريكتَين ملتصقتَين باوروبا وافريقيا؛ فضلاً عن إشارته إلى تشابه الحفريات، على جانبي المحيط الأطلسي. وفي عام 1668، شاعت هذه الفكرة في فرنسا. وفي بداية القرن العشرين، ظهرت أفكار العالمَين الأمريكيَين: فرانك تايلور Taylor Frank، وهوارد بيكر، Howard Baker، القائلة بفرضية ارتباط قارات العالم القديم وقارات العالم الجديد؛ وأنها كانت جزءاً من كتلة يابسة واحدة. وقد أيد تايلور بحثه، عام 1908، بشواهد قوية على تحرك القارات.

ثم جاءت أعمال العالمَين البريطانيين: إدوارد بولارد Edward Bullard، وآرثر هولمز Arthur Holmes، في بداية القرن العشرين، لتؤيد هذه الفرضية. ولكن الفضل في وضع هذه الأفكار في إطار نظرية علمية، واسعة الانتشار، أثارت كثيراً من الجدل، يعود إلى العالم الألماني، ألفريد فجنر، Wegener Alfried، الذي قدمها في سلسلة من الأبحاث، بين عامي 1912 و1924. وقد جمع فجنر في أعماله، التي كانت تهتم بدراسة المناخ القديم، من خلال الآثار الجيولوجية، الأدلة المتعددة، لإثبات أن القارات كانت وحدة واحدة، متصلاً بعضها ببعض، مكونة قارة عظمى على سطح الأرض، أطلق عليها اسم بانجايا Pangaea. وقد نشر آراءه هذه في كتابه الشهير، "أصل القارات والمحيطات" The Origin of Continents and Oceans؛ وأنه كان هناك محيط واحد، يحيط بتلك القارة؛ أطلق عليه اسم بانثالاسا Panthalassa. ويقول فجنر، إن قارة بانجايا، كانت موجودة، قبل 300

مليون سنة، في العصر الفحمي Carboniferous Period. كما يقول إنها تكسرت، بعد العصر الكربوني، وبدأت أجزاؤها تتزحزح، تاركة بينها فراغات، هي التي تشغلها المحيطات، في الوقت الحاضر.

وقد طابق فجنر، في رسمه لقارة بانجايا، بين سواحل الأمريكتَين، من جهة؛ وسواحل أفريقيا وأوروبا، من جهة أخرى. وطابق بين سواحل أستراليا وأنتاركتيكا، وشبه القارة الهندية وجزيرة مدغشقر، وألصقها بالساحل الشرقي الجنوبي لأفريقيا.

وقد استشهد فجنر على صحة نظريته بشواهد متعددة، يمكن حصرها في خمس مجموعات:

أ. تشابه السواحل المتقابلة، وخاصة في جنوب المحيط الأطلسي.

ب. تشابه الحفريات في القارات المتباعدة، وخاصة تلك الموجودة في أفريقيا وأمريكا الجنوبية.

ج. تشابه التركيب الصخري، واستمرارية بعض الظواهر الطبوغرافية، على السواحل المتقابلة.

د. آثار الغطاءات الجليدية، في بعض المناطق المدارية، في أفريقيا والهند وأستراليا وأمريكا الجنوبية.

ه. وجود مناجم الفحم، في الولايات المتحدة وأوروبا وسيبيريا، في عروض، تفتقد الظروف المناخية، حالياً، لنمو النباتات المدارية، اللازمة لتكون هذه المناجم.

على الرغم من أن فجنر، كتب نظريته، في وقت مبكر؛ إلا أنها لم تحظ باهتمام يذكر، حتى ترجم كتابه إلى الإنجليزية، عام 1924، فأصبحت نظريته موضوع نقاش حاد، استمر حتى موته، عام 1930.

حاول فجنر، في بداية طرحه لنظريته، تطبيق سواحل غرب أفريقيا على سواحل أمريكا الجنوبية، فواجهه كثير من المصاعب. وتحت ضغط الانتقادات

الشديدة الموجهة لنظريته؛ ولأن السواحل قد تعرضت لكثير من عمليات التعرية والإرساب، الناجمة عن الأمواج، والأنهار، والتيارات البحرية، على الجانبَين؛ فقد فشل فجنر في محاولته. ولم ينجح في إيجاد درجة مرضية من التطابق، بين خطي الساحل المتقابلين. وكاد يسلم بعدم صحة نظريته. وما ينبغي ذكره، في هذا الخصوص، أن بولارد Bulard، ومعه آخرون من مؤيدي نظرية التزحزح، تمكنوا، عام 1960، من إيجاد تطابق جيد، بين حافتي القارتين المتقابلتين؛ ولكن ليس على خط الساحل، بل بين خطي عمق 900م، تحت سطح الماء، على الساحلين المتقابلين.

بعد أن فشل فجنر في محاولته تطبيق سواحل القارات، وكاد يسلم بعدم صحة نظريته، اطلع على بحث، يشير إلى وجود تشابه كبير، بين الحفريات الموجودة في أمريكا الجنوبية، وتلك الموجودة في افريقيا. وبعد بحث وتدقيق، تبين له أن علماء الحفريات، والمهتمين بالأحياء القديمة، يرون أنه لا شك في وجود نوع من الاتصال الأرضي بين القارتين؛ لتفسير تماثل الحفريات فيهما، وفي أستراليا وأنتاركتيكا. وكانت نظرية المعابر Pssage Way Theory، هي السائدة في تفسير هذا التماثل. وقد نشط فجنر، بعد ذلك، في بناء نظريته وتدعيمها بالأدلة. فاستخدم دليل الحفريات، واستبعد فكرة وجود المعابر، مستشهداً بتماثل التركيب الصخري، في السواحل المتقابلة، على جانبي الأطلسي، في السواحل الشرقية لأمريكا الجنوبية وأمريكا الشمالية، والسواحل الغربية لأفريقيا وأوروبا؛ وفي شبه القارة الهندية، وسواحل أستراليا وأنتاركتيكا. هذا التشابه حاصل، مثلاً، في جبال الأبلاش، التي تشبه في تركيبها جبال جرينلاند Green Land، وبعض جبال أوروبا. هذه الجبال، عند وصل بعضها ببعض، تشكل سلسلة جبلية واحدة، لها التركيب والخصائص أنفسهما. والتشابه في التركيب الصخري، والتطور الجيولوجي للسلاسل الجبلية، لا يمكن نظرية المعابر تفسيره، وخاصة أنه لا يوجد لهذه المعابر المزعومة أثر، تحت مياه المحيط. وقد استشهد فجنر، كذلك، بشواهد من آثار التغيرات المناخية القديمة، التي شملت آثار غطاءات جليدية قديمة، يرجع عمرها إلى نهاية العصر الباليوزوي قبل 300 . 250 مليون سنة، في نصف الأرض الجنوبي؛ شملت كلاً من

أفريقيا، وأمريكا الجنوبية؛ إضافة إلى الهند، وصحاري أستراليا. هذه الآثار، تدل على أن الجليد، غطى مناطق واسعة، في نصف الكرة الجنوبي، معظمها تقع، حالياً، في المناطق، المدارية وتحت المدارية؛ ولا تبعد عن خط الاستواء أكثر من 30°. فهل مرت بالأرض فترة متجمدة شديدة، امتدت الغطاءات الجليدية، خلالها، إلى هذه المناطق القريبة من خط الاستواء؟ استبعد فجنر هذه الاحتمالية، على أساس أن غطاءات واسعة من النباتات المدارية، كانت تغطي النصف الشمالي من الكرة الأرضية، في الوقت نفسه، الذي كان الجليد فيه، يغطي النصف الجنوبي. وقد كونت بقايا تلك النباتات مناجم الفحم، الموجودة، حالياً، في أمريكا الشمالية وأوروبا وسيبيريا.

وقد اقترح فجنر تحليلاً، يجمع بين هذه الشواهد ويوضحها؛ فحواه أن قارات النصف الجنوبي، كانت يابساً واحداً، متصلاً، حول القطب الجنوبي؛ وتتصل بها، من الشمال، قارات النصف الشمالي. وهذا يوضح الامتداد الواسع للغطاءات الجليدية إلى قارات النصف الجنوبي؛ وذلك يجعل قارات النصف الشمالي، تقع في المناطق المدارية، كذلك؛ ما يوفر الظروف الملائمة لنمو النباتات المدارية، التي كونت مناجم الفحم، في تلك المناطق.

لم يكن كثير من الجيولوجيين، المعاصرين لفجنر، ليترددوا كثيراً في قبول فكرة، أن قارات العالم، كانت مجتمعة في قارة كبرى، مشكلة يابساً واحداً، متصلاً، من القطب الجنوبي شمالاً. إذ وجود قارة بانجايا، كان مدعماً بالكثير من الأدلة، المقنعة لعدد كبير منهم، في عشرينيات القرن الماضي وثلاثينياته.

على الرغم من السخرية الشديدة، التي لقيتها النظرية من كثير من معاصريه، وعلى الرغم من أن المقالات، التي تردّ على نظريته، كانت تأتي من كل حدب وصوب؛ فقد أصدر فجنر، عام 1929، الطبعة الرابعة، والأخيرة، من كتابه "أصل القارات والمحيطات"، متمسكاً بنظريته، بل مضيفاً شواهد جديدة عليها.

يكمن الإشكال الكبير، بالنسبة إلى النظرية، كان في التزحزح بحد ذاته. وهو إشكال، يقوم على التساؤل عن الأسس الفيزيائية لهذه العملية، ويتمثل في:

أ. ما الذي كسَّر قارة بانجايا.

ب. وما هي القوة، التي دفعت أجزاءها إلى أماكنها الحالية؟

كان هذان التساؤلان عن آلية التزحزح، الزحزحة من أقوى الاعتراضات، التي وجهت إلى النظرية. وقد بنى عليهما تساؤل آخر، هو: لماذا لا تتزحزح القارات، اليوم، بالصورة نفسها، التي يذكرها فجنر؟ أو لماذا توقف التزحزح؟

لا يوجد أثر، في قيعان المحيطات، لمرور كتل القارات فوقها، في طريق تزحزحها إلى أماكنها الحالية. ولا يوجد أدلة على ضعف القشرة المحيطية، إلى درجة، تسمح بمرور القارات فوقها، من دون أن تترك أثراً.

فافتراض فجنر، أن الكتل القارية، الأقل كثافة، قد تزحزحت فوق صخور القشرة المحيطية، الأعلى كثافة، ليس له شواهد تسانده. وهو فيزيائياً، غير ممكن؛ إذ إن الكتل الصخرية الصلبة للقشرة الأرضية، لا يمكن أن تتحرك فوق بعضها، من دون أن تتكسر، ومن دون أن تترك أثراً، كما تتحرك السفن فوق الماء.

كان فجنر قد اقترح، أن جاذبية القمر، وحركة المد، ربما كانتا قويتين، بما يكفي لتكسير قارة بانجايا ودفع أجزائها إلى التحرك. ولكن عالم الفيزياء البريطاني، هارولد جيفري Jeffreys Harold، أثبت أنه لو ارتفعت قوة الاحتكاك الناتج من المد، إلى درجة تكفي لدفع القارات؛ فإنها ستكون كافية، كذلك، لإيقاف دوران الأرض حول نفسها، في بضع سنين.

على الرغم من أن نظرية تزحزح القارات، لم تحظ بالقبول العام من العلماء، حينئذ؛ إلا أن شواهدها القوية، وأسسها العلمية، رفدت الفكر العلمي بما يمكن إيجازه في نقطتين:

أ. قدمت النظرية تفسيرات علمية مقبولة، لكثير من الظواهر المشاهدة على سطح الأرض، سواء في مجال الجيولوجيا، أو الأحياء والنبات، أو المناخ القديم، والحفريات. ومن أمثلة ذلك، قدمت النظرية تفسيرات لتطابق السواحل المتقابلة، على جانبي المحيط الأطلسي؛ وأخرى لتشابه صخور السواحل المتقابلة، على تخوم المحيطات. وفسرت تطابق اتجاهات السلاسل الجبلية، في شرق الولايات المتحدة، وجزيرة جرينلاند، وإسكتلندا، وشبه الجزيرة الإسكندنافية. وفسرت، كذلك، تشابه حفريات نبات الجلوسوترس Glossopteris، في كل من أفريقيا وأمريكا الجنوبية وأنتاركتيكا وأستراليا؛ وتماثل أنواع الصخور، في كل من سواحل البرازيل وساحل غانا. كما فسرت حدوث سلاسل الجبال الالتوائية، وأماكن امتدادها، في غرب الأمريكتَين، وجنوب أوروبا، وفي آسيا وأستراليا.

ب. أثارت جدلاً علمياً عميقاً، وواسعاً، بين مؤيديها ومعارضيها. وقد أثرى ذلك الجدل الحركة العلمية، وقتها؛ وأدى إلى رفع مستوى الفهم العلمي، لعمليات تكوّن الأحواض المحيطية، وتوزع اليابس والماء. وكان ذلك النقاش بداية منحىً جديدٍ في التفكير العلمي في هذا المجال؛ قاد، في النهاية، إلى ظهور أفكار جديدة، شكلت أساس نظرية تكتونية الصفائح؛ وهي النظرية الشائعة القبول بين العلماء، اليوم، في تفسير الظواهر التضاريسية الكبرى لسطح الأرض، وتكوّن الأحواض المحيطية.

طبيعة وخصائص مياه البحار والمحيطات:

الأمواج:

تتكون الأمواج بفعل الرياح التي تهب على سطح الماء وتجعله مطريا مكون الأمواج. بعد هدوء الرياح أو انتظام سرعتها سرعان ما تتحول الأمواج إلى أمواج منتظمة. وعندا تريد أن توصف الأمواج يجب عليك أن تأخذ في الاعتبار: ارتفاعها – طولها – مدتها. الارتفاع هو المسافة الراسية من مستوى سطح البحر إلى قمة

الموجة. أما طول الموجة هي المسافة بين كل موجة وأخرى. آما مدتها هو الزمن الذي تستغرقه مرور قمتين متتاليتين بنقطة ثابتة. وعندما تدفع الرياح سطح الماء مكون الأمواج فان شكل الموجه هو الذي يتحرك بينما جزيئات الماء تكاد لا تنتقل مع الموجة. أما في حالة نهاية الموجة فان جزيئات الماء تأخذ شكل دوائر بفعل انكسار قمة الموجة في المناطق العميقة يكون ارتفاع الموج اكبر منه على الساحل وكلما ازداد العمق كلما قل تأثير الموج والموج يؤثر (بالحركة) على عمق مرة ونصف ارتفاع الموجة. الزلازل والبراكين في قاع المحيط وتكون أمواج كبيرة جدا ومدمرة قد يصل ارتفاع هذه الموجة (في حالة الزلازل) إلى 75 قدم وتكون من القوه أن تحرك حاجز خرساني يبلغ وزنة 2500 طن.

وتنتقل الأمواج من أماكن بعيدة جدا من الشاطئ وتتحطم أو تنتهي هذه الأمواج على الشاطئ أو إذا صادفت الموجة جسم مغمور وقريب من السطح فإنها تتحطم الموجة وتتحول إلى زبد ابيض اللون بتفكك جزيئات الماء من شدة ارتطامها بالصخور. لقد نجح الإنسان في استغلال طاقة حركة الموج لتوليد الطاقة لكن لم تتوسع هذه الطريقة لتكاليفها الباهظة. الأمواج خطر على المراكب والسباحين والغواصين وتكون محببة لدى البعض لممارسة رياضة التزلج على الماء أو رياضة القوارب الشراعية.

التيارات:

عندما تجري المياه كالنهر تسمى هذه الحركة (التيار) وتتراوح قوة التيارات ما بين المحسوس إلى القوي جدا بعض هذه التيارات سطحية والآخر سفلية التي بينتها الدراسات الحديثة إن التيارات ليست بالبساطة التي تظهرها الخرائط البحرية بل يوجد تيارات مضادة لتيارات السطح على أعماق مختلفة ويأخذ اتجاهات أفقية أو عمودية ولمسافة طويلة. ولقد تبين بعد دراسة أحد التيارات السفلية في المحيط الأطلسي انه يتجه إلى عمق 9 آلاف قدم وقدر عرض هذا التيار 75 ميلا أما سرعته فقدرة بـ 8 أميال / ساعة. واكتشف تيار آخر في المحيط الهادي

يقدر عرضة ب2500 ميل على عمق 200 قدم تحت المحيط. ويوجد الكثير من هذا النوع من التيارات لم يتم التعرف عليه في شتى بحار العالم. ومن أعجاز القران الكريم شرح وبشكل واضح أن هناك نوعان من الموج بعضها فوق بعض والعلماء لم يكتشفوها إلا الآن يا سبحان الله.

قال الله تعالى: ﴿أَوْ كَظُلُمَاتٍ فِي بَحْرٍ لُجِّيٍّ يَغْشَاهُ مَوْجٌ مِنْ فَوْقِهِ مَوْجٌ مِنْ فَوْقِهِ سَحَابٌ ظُلُمَاتٌ بَعْضُهَا فَوْقَ بَعْضٍ إِذَا أَخْرَجَ يَدَهُ لَمْ يَكَدْ يَرَاهَا وَمَنْ لَمْ يَجْعَلِ اللَّهُ لَهُ نُوراً فَمَا لَهُ مِنْ نُورٍ﴾ (النور:40).

وتعددت فوائد هذه التيارات في موازنة ومعادلة كل من درجات الحرارة والملوحة في مياه المحيط والبحار وتعتبر التيارات وسيلة نقل المواد الغذائية مثل (البلانكتون) إلى أماكن أخرى. إن حركة التيارات تساعد على تبخير المياه التي ترطب الهواء وتكون السحب. كذلك تساعد التيارات متمثلة في المد والجزر على تشكيل السواحل ونقل الرواسب إلى القاع.

اما اسباب التيارات بنوعيها السطحية والسفلية:

1. **قوة الطرد المركزية ودوران الأرض حول محورها:**

هذه القوه الطبيعية تولد التيارات الدائمة في وسط المحيطات على شكل دوائر كبيرة جدا تقدر بعرض المحيط. تدور هذه التيارات باتجاه عقارب الساعة في شمال منتصف الكرة الأرضية وتدور عكس اتجاه عقارب الساعة في الجنوب من منتصف الكرة الأرضية.تستفيد السفن من التيارات السطحية وتسير مع اتجاهه لتصل في وقت اقصر وبوقود اقل.

2. **المد والجزر:**

ممكن ملاحظة المد والجزر من الشاطئ وذلك بارتفاع أو انحسار منسوب مياه البحر إلى حد يمكن مشاهدة الصخور المرجانية التي تصحبها رائحة كريهة.

ويحدث المد والجزر كل 12 ساعة و21 دقيقة. ويحدث المد والجزر بتأثير من جاذبية القمر وذلك بقربه أو بعدة عن الكرة الأرضية وكذلك عندما يكون القمر بدرا أو محاق يحدث آدني مد وآدني جزر والعكس صحيح. كثير من الأسماك تخرج من الأعماق إلى الشاطئ أثناء فترة المد وتعود إلى القاع قبل نهاية الجزر.

أثناء المد والجزر يحصل نحت لصخور الشاطئ وإذابة الأملاح وسحبها مع الأوحال والطين إلى البحر والمحيط ويصبح المد أو الجزر خطرا حقيقيا في الممرات الضيقة لمداخل الخلجان وسوف تلاحظ القوارب تسير بصعوبة جدا في حالة مضادة التيار.

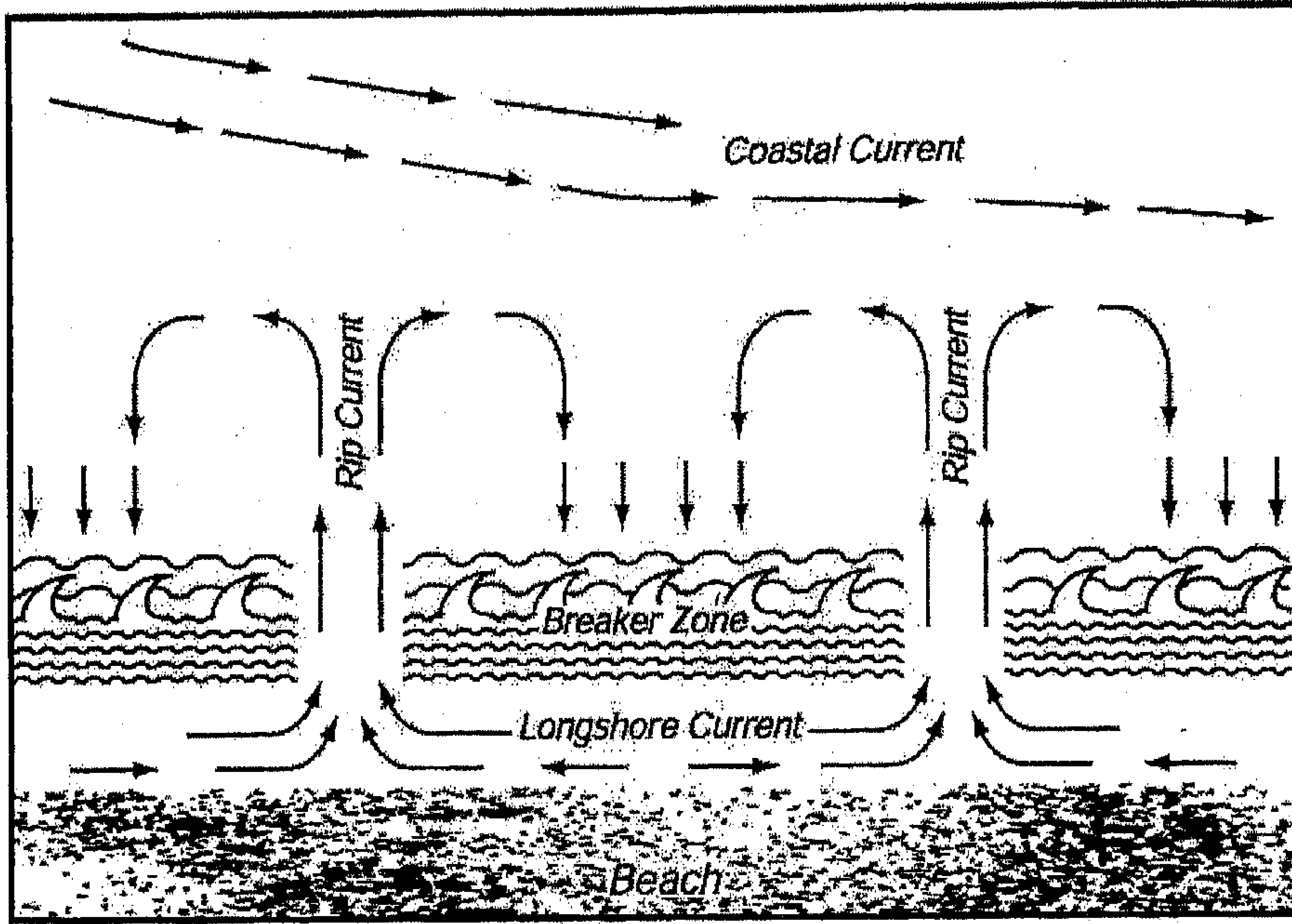
3. اختلاف درجات الحرارة:

تسخن الشمس سطح المحيطات والبحار وبسبب اختلاف درجات الحرارة بين السطح وبين القاع البارد تنشأ تيارات الحمل من اسفل القاع إلى السطح والعكس صحيح.

4. الرياح:

تلعب الرياح دورا كبيرا في حركة التيارات والأمواج. حينما تهب الرياح على سطح واسع من البحر فإنها تكون تيارات متفاوتة القوة ومختلفة الأشكال وذلك على حسب قوة الرياح أو الأعاصير.

أما أخطر التيارات:



التيار الشاق هو شكل من أشكال التيارات تتحول فيه طاقة الموج إلى تيار قوي ومعاكس للاتجاه وتحدث في السواحل حيث تنتهي الأمواج وتتحطم وتتحول إلى تيارات والتيار الشاق له أماكن معروفة وهى عبارة عن تجويفات في جدار منطقة انكسار الأمواج وطبيعة الارض وهو خطرة جدا وسجلت اكثر حوادث غرق السباحين بهذا التيار. ويمكن مشاهدته والتعرف عليه من الشاطئ يحدث التيار أثناء حركة الموج...

مصادر الأملاح:

إن جميع المحيطات والبحار تحتوي على أملاح لكن تتفاوت درجة ملوحتها عن بعض. ويعتقد العلماء آن سبب وجود الأملاح هو مياه الأنهار التي تذيب الأملاح من اليابسة وتصبه في المحيطات. ويعتقد انه يوجد كتل من الملح الصلب في قاع المحيط. بعد هذه الافتراضات لازال العلماء في حيرة من أمرهم من مصادر هذه الأملاح. وفي اعتقادي إن العلماء ذهبوا بعيدا بأفكارهم بالبحث عن مصادر ملوحة

البحار. لقد قال تعالى: ﴿وَهُوَ الَّذِي مَرَجَ الْبَحْرَيْنِ هَذَا عَذْبٌ فُرَاتٌ وَهَذَا مِلْحٌ أُجَاجٌ وَجَعَلَ بَيْنَهُمَا بَرْزَخاً وَحِجْراً مَحْجُوراً﴾ (الفرقان:53)، وتتراوح نسبة الملوحة في مختلف المحيطات والبحار من 33 – 38 جرام لكل لتر.

أما اكثر عناصر الأملاح تواجدا في مياه المحيطات والبحار هو ملح الطعام (كلوريد الصوديوم) إضافة إلى المغنيسيوم والكبريت والكالسيوم والبوتاسيوم والبروم والسليكون والنيتروجين والفسفور والحديد والنحاس والمنجنيز وتعتبر هذه الأملاح والمعادن من أهم مصادر الغذاء للكائنات البحرية.

المحيط المتجمد الشمالي يحتوي على اقل نسبة من الأملاح وتقدر نسبتها 1٪ أما أعلى نسبة ملوحة سجلت 33 ٪ في بحيرة (فان) التركية. ثم البحر الميت تتراوح نسبة ملوحته 30 ٪، أما نسبة ملوحة البحر الأحمر تقدر 5٪.

عندما تكون مياه المحيط أو البحر هي المادة الخام للتصنيع ماذا تستخرج منها؟

على سبيل المثال تحصل الولايات المتحدة على كل ما يلزمها من المغنيسيوم ونسبة 80 ٪ من عنصر البروم والكلور والصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم.

ويقال أن هناك 25 طن من الذهب في كل ميل مكعب من مياه البحر أما ألمانيا لها باع طويل في عملية استخلاص الذهب من مياه البحر. أضف إلى ذلك يميز ماء البحر بعلاج الكثير من الأمراض الجلدية. وتستطيع مياه البحر أن تحفظ صيد الأسماك والإصابات والجروح افضل لو تعرضت للهواء.

تقييم الموارد المائية:

مقدمة:

يشير عدد من التقديرات أن مياه البحر المالحة تشكل 94 في المائة من المياه في العالم بينما المياه العذبة 6 في المائة وتمثل الانهار الجليدية 27 في المائة من المياه العذبة و72 في المائة مياه جوفية ويتبقى أقل من واحد في المائة من المياه العذبة في الغلاف الجوي أو المجاري المائية أو البحيرات في أي وقت من الأوقات. وتتجدد الإمدادات من المياه العذبة بإستمرار بفضل الأمطار والجليد ويقدر مجموع جريان المياه من القارات بنحو 41000 كيلو/متر مكعب في السنة ويعود الى البحر 27000 كيلو متر مكعب على شكل تدفقات سيول و5000 كيلو متر مكعب من الأماكن غير المأهولة. ويتبقى من هذه الدورة نحو 9000 كيلو متر مكعب من المياه على نطاق العالم ليستغلها الإنسان. ونظرا لأن توزيع السكان في العالم وتوزيع المياه الصالحة للإستخدام غير متكافئتين تتفاوت كميات المياه المتوافرة محليا تفاوتا كبيرا ويعاني جزء كبير من الشرق الأوسط ومن منطقة شمال أفريقيا وأجزاء من أمريكا الوسطى وغربي الولايات المتحدة تعاني من نقص المياه. ومن المتوقع أن يعاني عدد أكبر من البلدان من ندرة المياه بسبب تزايد الطلب على المياه لأغراض الزراعة والصناعة والإستخدامات المنزلية بحلول عام 2000.

يتفاوت الطلب على المياه بصورة ملحوظة من بلد لآخر تبعا لعدد السكان والمستويات وأنماط التنمية الإجتماعية الإقتصادية السائدة فهناك إختلافات ملموسة بين البلدان المتقدمة والنامية في طلبها على المياه فمثلا يزيد متوسط إستهلاك الفرد من المياه المستخدمة في المنازل في الولايات المتحدة 70 مرة عن مستوى إستهلاك الفرد في غانا. وزاد إستهلاك المياه بصورة حادة في العالم من 1360 كيلو مترا مكعبا في عام 1950 الى 4130 كيلو مترا مكعبا في عام،1990 ومن المتوقع أن يبلغ الإستهلاك 5190 كيلو متر مكعب بحلول عام 2000. وإن كانت استخدامات المياه تتغاير من بلد لآخر إلا أن الزراعة تشكل النشاط الأول

الذي يستنزف الإمدادات من المياه فمن مجموع المياه المستهلكة على مستوى العالم يعد متوسط المسحوبات لأغراض الزراعة بنحو 69 في المائة ولأغراض الصناعة 23 في المائة وللأغراض المنزلية 8 في المائة.

ولا يعتبر ضمان الإمداد الكافي للمياه المشكلة الوحيدة التي تواجه الكثير من بلدان العالم فحسب بل تتعلق أيضا بنوعيتها. فقد بدأ العالم منذ منتصف الستينات ينشغل بمشكلة نوعية المياه وكان أول ما استلفت نظره تلوث المياه السطحية من مصادر معروفة ولكنه اكتشف مؤخرا ان المياه الجوفية والملوثات المترسبة ومصادر التلوث غير المعروفة قد تفضي الى مشكلات لا تقل خطورة عن تلوث المياه السطحية.

ويتمثل النمط الأساسي للتلوث في تصريف النفايات غير المعالجة او المعالجة على نحو غير كاف في الأنهار والبحيرات ومستودعات المياه ومع نمو الصناعة اصبح تصريف مياه النفايات الصناعية في المصادر المائية يخلق مشكلات تلوث جديدة. ومشكلة زيادة التخثث التي يتسبب فيها مياه الصرف الزراعي المحملة بالاسمدة من الأراضي الزراعية من المشكلات التي تؤثر على نوعية المياه في الانهار والبحيرات، وتتحمض البحيرات بسبب الترسبات من المواد الحمضية وتنتشر في بعض البلدان الاوروبية وأمريكا الشمالية. ويمكن ان تنتقل النفايات الى البحيرات والمجاري المائية بطرق غير مباشرة مثلا عند ترشيح المياه خلال التربة الملوثة وانتقال الملوثات الى البحيرات والانهار واصبح التخلص من النفايات الكيميائية السامة في البر من المصادر الخطيرة لتلوث المياه الجوفية والسطحية على السواء. ومن المألوف في مناطق تربية الحيوان او التي تستخدم فيها كميات كبيرة من الاسمدة النترية، ان تصل التركيزات النترية في المياه الجوفية الى نسبة تتجاوز المبادىء التوجيهية التي وضعتها منظمة الصحة العالمية. وقد اصبحت هذه المشكلة موضع قلق بعض البلدان الاوروبية والولايات المتحدة كما تفاقمت في البلدان النامية الى حد كبير.

بدأت بعض البلدان في رصد نوعية مياهها ويضم مشروع رصد المياه التابع للنظام العالمي للرصد البيئي الذي بدأ في تنفيذه في عام 1977 ، 344 محطة (لرصد 240 نهرا و43 بحيرة و61 مستودعا للمياه الجوفية) في 59 بلد ويتولى المشروع جمع البيانات عن زهاء 50 مؤشرا مختلفا لنوعية المياه من بينها قياسات أساسية مثل الأكسجين المذاب والطلب على الأكسجين البيولوجي والبكتيريا العضوية والنترات الموجودة في البراز بالاضافة الى تحليل المكونات والملوثات الكيميائية النزرة (المعادن الثقيلة والملوثات الحيوية الدقيقة).

ويمكن اعتبار قرابة 10 في المائة من جميع الانهار التي جرى رصدها ملوثة لأن نسبة الطلب على الأكسجين البيُولوجي فيها تزيد عن6.5 ملليغرام/ لتر (5)، إذ تتجاوز ما تحتويه من الفسفور والنيتروجين وهما العنصران الغذائيان الرئيسيان النسب الطبيعية في المياه التي أجرت الشبكة قياسات بشأنها ويبلغ متوسط مستوى النترات في الانهار غير الملوثة 100 مايكروغرام/ لتر. وكشفت الشبكة أن المتوسط 4500 مللغرام/ لتر بالنسبة للأنهار التي قامت برصدها في أوروبا. وعلى خلاف ذلك كشفت ان المتوسط أقل بكثير ويبلغ نحو 250 ملليغرام/ لتر بالنسبة للأنهار خارج أوروبا، ويبلغ متوسط الفسفور في مياه الانهار التي رصدتها مرتين ونصف متوسطة في الانهار غير الملوثة (10 ملليغرامات/ لتر). وفيما يتعلق بالمعادن والمواد السامة أدت الاجراءات التنظيمية الى انخفاض ملموس في الرصاص الموجود في معظم أنهار بلدان منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي عن مستواها في عام 1970. ولم تتبع المعادن المواد السامة الأخرى نفس الاتجاه الذي يبشر بالخير رغم الجهود المبذولة للحد من تصريفها في المجاري المائية. ومن خصائص هذه المواد الادامة والتراكم في الترسيبات القاعية والقدرة على اطلاقها بعد ترسبها فترات طويلة. ويعتبر مستوى المبيدات الكلورية العضوية التي رصدت في عدد من بعض أنهار البلدان النامية (مثل كولومبيا وماليزيا وجمهورية تنزانيا المتحدة) أعلى من المستويات المسجلة في الأنهار الأوروبية.

مشكلات الموارد المائية:

تنحصر مشكلات الموارد المائية في تلوث واستنزاف الموارد المائية.

- **تلوث الموارد المائية:**

1) مصادر تلوث الموارد المائية:

- **المياه العادمة:**

وهي عبارة عن المياه الناتجة عن النشاطات البشرية المختلفة لانها تحتوي على مكونات عضوية وغير عضوية وجرثومية واشعاعية حرارية. والتي تتواجد بشكل مواد مذابة او مترسبة وعالقة. ومن أهم مصادر تلوث المياه:

أ. المياه العادمة المنزلية:

حيث تتحول اكثر من 80 بالمائة من المياه المستهلكة للستعمال المنزلي الى مياه عادمة. وتحتوي هذه المياه على كميات هائلة من البكتيريا والفطريات والفيروسات.

ب. المياه العادمة الصناعية:

وهي المياه الناتجة عن الاستعمال الصناعي والتي تحتوي على مواد كيماوية ضارة وسامة صعبة التحلل، بالاضافة الى انها تحتوي على مواد عالقة ومترسبة وذائبة وحوامض سامة بالاضافة الى ما تحدثه من تلوثحراري.

ج. المياه العادمة الزراعية:

تحتوي المياه العادمة الزراعية على مواد عضوية سهلة التحلل بالاضافة الى التلوث الناتج عن تصنيع علف الحيوانات والذي ينتج عنه مياه عادمة فيها تركيز

عالي من الحوامض العضوية بالاضافة الى المواد العضوية ومركبات النيتروجين المختلفة. ويؤدي تسرب هذه المياه الى المياه السطحية والجوفية الى تلوثها.

- **التلوث بالنفط:**

يسهم التلوث بالنفط في تلوث المياه السطحية والجوفية. ويؤدي استخراج النفط من اليابس الى تسريه الى المياه الباطنية وبالتالي تلوثها. كما ان استخدام السفن في نقل النفط يؤدي الى تلوث مياه البحار والمحيطات خاصة عندما تتحطم السفن المحملة بالنفط في عرض البحار. كما يؤدي تسرب النفط الى مياه البحار او المحيطات سواء كان ذلك من حُقول نفط ساحلية او حقول نفط بحرية الى تلوث مياه البحار والمحيطات.

- **التلوث بمياه الامطار:**

تحتوي مياه الامطار وخاصة بعد فترة انقطاع وفي دقائقها الاولى على ملوثات مختلفة منها الغبار واكاسيد النتروجين والكبريت، حيث يؤدي ذلك الى سقوط امطار حامضية خاصة في مناطق الصناعة الاوربية او الامريكية والكندية.

- **التلوث بانواع الفضلات الصلبة:**

ان طرح انواع مختلفة من الفضلات وخاصة للمدن الكبيرة يؤدي الى ذوبان المواد السامة عند سقوط الامطار ثم يبدأ التسرب الى باطن الارض باتجاه المياه الجوفية او الجريان باتجاه الانهار.

أشكال التلوث المائي:

هناك خمسة اشكال رئيسية من التلوث المائي وهي:

- التلوث الفيزيائي والذي يحدث نتيجة عمليات الانجراف المائي او في مناطق المناجم والصناعات التعدينية.
- التلوث الكيميائي: ويحدث نتيجة وجود مواد كيماوية سامة مذابة في الماء مثل املاح الكبريتات والنيترات والفسفور والرصاص والزئبق وغيرها.
- التلوث الاشعاعي: ينتج التلوث الاشعاعي للماء بسبب التجارب النووية او انفجار المفاعلات النووية كما حصل في الاتحاد السوفياتي السابق والاولايات المتحدة الامريكية.
- التلوث الحراري: ويؤدي ذلك الى ارتفاع درجة حرارة المياه سواء مياه الانهار او مياه السواحل البحرية وينتج ذلك عن مياه المصانع التي استخدمت في عملية التبريد وارتفاع حرارة المياه ويقلل من الاوكسيجين مما يؤدي الى القضاء على الثروة السمكية والنباتات المائية.

المحافظة على الموارد المائية:

كما مر معنا نلاحظ ان موارد المياه السطحية والجوفية تتعرض لمشكلتين رئيسيتين وهما الاستنزاف والتلوث. ومن اجل المحافظة على هذا المصدر الهام والذي لاحياة من دونه، لابد من اتخاذ بعض التدابير والقوانين للحد من المشاكل التي تهدد الموارد المائية وذلك عن طريق الحد من التلوث والحد من الاستنزاف للموارد المائية، ويمكن تحقيق ذلك عن طريق:

الحد من الاستنزاف:

من اجل الحد من الاستنزاف يجب تطبيق الاجراءات التالية:

- حماية الماء الجوفي عن طريق ترشيد الاستهلاك وذلك من اجل اعادة التوازن للمياه الجوفية عن طريق الموازنة بين كميات المياه المسحوبة وكميات المياه المعوضة عن طريق الامطار.
- معالجة المياه واعادة استخدامها وذلك بالتخلص من المواد السامة فيها من اجل اعادة استخدامها في الري او الصناعة.
- البحث عن مصادر مائية جوفية، وذلك لتخفيف الضغط عن المياه الواقعة تحت الاستغلال حتى يتاح لها المجال لاعادة تجديد مخزونها.
- توفير ادارة صارمة لتوزيع المياه في المدن، تعتمد على اسس علمية وتقنية.
- نشر الوعي لدى سكان الدول التي تعاني من تلوث او استنزاف مواردها المائية عن طريق وسائل الاعلام والمدارس والمعاهد والجامعات.

2) الحد من التلوث:

يمكن القيام بعدة اجراءات للحد من تلوث الموارد المائية وذلك كما يلي:

- معالجة المياه العادمة والمنزلية في محطات تنقية خاصة تقلل من تلوث المياه الجارية والجوفية.
- فرض قوانين خاصة على المصانع لتقوم بتنقية المياه العادمة الصناعية الناتجة عنها حسب المواصفات المعتمدة.
- حماية المصادر المائية السطحية والجوفية من التلوث الناتج عن مخلفات الصناعة والمبيدات الحشرية المستعملة في الزراعة.
- معالجة الفضلات الصلبة في مكاب النفايات الصلبة خاصة حول المدن الكبيرة والتخلص منها بطريقة مأمونة.

- الحد من تلوث المياه بالنفط وذلك بالتأكد من صلاحية ناقلات النفط قبل تحميلها بكميات هائلة منه

الموارد المائية في الوطن العربي:

تعتبر المنطقة العربية منطقة عجز وانكشاف مائي مستمر، نسبة للموقع الجغرافي لمعظم الدول العربية والتي يسودها الجفاف شبه الكامل باستثناء بعض المناطق الشمالية المحيطة بجنوب البحر الأبيض المتوسط والمناطق المستفيدة من جريان الأنهار الكبرى التي تنبع من المناطق المجاورة لعدد كبير من الدول العربية.

ونظراً للتزايد الديمغرافي وتحسن المستوى المعيشي في العديد من الدول العربية، فإن الطلب على المياه في تزايد مستمر، خاصة في السنوات الأخيرة، التي شهدت العديد من موجات الجفاف. وبما أن الكميات المتاحة من المياه السطحية لا تغطي الطلب المتزايد على المياه، سواء للشرب أو للأغراض الزراعية والصناعية، كما أن المياه الجوفية تحيط بها العديد من المحددات والمتمثلة في ضعف التغذية وانعدامها في بعض الأحيان نتيجة لضعف تساقط الأمطار وطبيعة المكونات الجيولوجية للخزانات الجوفية والتي تشكل حاجزاً للتسرب العميق والنفاذية.

وقد أدى هذا الوضع إلى انخفاض مستوى سقف الخزانات الجوفية وبالتالي رفع تكاليف الضخ، بالإضافة إلى تدهور نوعية المياه الجوفية بسبب التلوث المستمر، خاصة بالنسبة للخزانات ذات العمق المنخفض. فأصبحت هذه الوضعية تشكل خطراً حقيقياً على النشاط الزراعي بصفة عامة والزراعة المروية بصفة خاصة.

ومن منطلق الحفاظ على القطاع الزراعي مما لحق به من جراء الاستغلال غير المرشد للموارد المائية الجوفية، قامت المنظمة العربية للتنمية الزراعية بإعداد هذه الدراسة، والتي تهدف إلى تقييم الوضع الحالي للمياه الجوفية في المنطقة العربية، للخروج ببرنامج عمل مستقبلي يسمح بالاستغلال الامثل لتلك المياه

والحفاظ على المياه السطحية المتجددة، وبالتالي دعم القطاع الزراعي، خاصة المروي منه.

والمنظمة إذ تقدم هذه الوثيقة لخدمة متخذي القرار والتنفيذيين والمسؤولين عن قطاع المياه بالدول العربية، نأمل أن يجدوا فيها ما يعينهم على بلورة المشروعات واتخاذ الإجراءات الكفيلة بتعظيم الاستفادة المياه الجوفية في المنطقة.

يواجه قطاع المياه عموماً بالدول العربية مجموعة من التحديات، أهمها تنامي الطلب على المياه وبعجلة متسارعة، إذ تشير الدراسات بأنه وفي ظل معدل الاستخدام الحالي للفرد العربي من المياه فإن جملة المياه المستخدمة حتى عام 2010 من المتوقع أن تصبح حوالي 287 مليار م^3/السنة وذلك بعجز مائي يقدر بحوالي 40 مليار م^3 سنوياً. هذا وسينقص نصيب الفرد من المياه في الدول العربية من 970 م^3/السنة (2001) إلى 640م^3 بحلول عام (2010) وإلى 425م^3 عام (2025). يشكل تدني كفاءة الاستخدام الحالي للمياه في الزراعة العربية تحدياً وهو ما تم التأكيد عليه. هذا بالإضافة إلى تدهور نوعية المياه والتقلبات المناخية. إن توفير الاحتياجات المائية المستقبلية يعتمد إلى حد كبير على حسن استخدام الموارد المائية المتاحة وحمايتها من الفقد والتدهور.

ورد في إعلان القاهرة لمبادئ التعاون العربي في استخدام وتنمية وحماية الموارد المائية العربية في عام 1997 ما يلي:

(تعزيز التعاون العربي في مجال المحافظة على نوعية المياه والتأكيد على البعد البيئي في السياسات الزراعية والمائية، واتخاذ كافة الإجراءات والتدابير لحماية وصيانة الموارد المائية والأرضية التي تحقق أهداف التنمية الزراعية والريفية المستدامة، وتلبي الاحتياجات الحالية وتطلعات الأجيال القادمة).

مصطلح قدرة المياه استعمل طويلاً عالمياً كمؤشر وحيد لندرة المياه أي كمية الموارد المائية معبرة بعدد السكان مع تحديد النسب 1000، 2000، 500 م^3 للفرد/السنة إذا ما تفاوتت شكلت عائقاً للتنمية الاقتصادية والحماية البيئية. هذا المؤشر لا يأخذ في الاعتبار استخدام المياه للأغراض الزراعية والتي تمثل ما يقارب 90٪ من الاحتياجات الكلية في المناطق القاحلة ذات الاقتصاد الزراعي. لذا فأن تقييم الضغط البشري على الموارد المائية هو عنصر هام ويتمثل في السحب حسب المورد. وعرف ضغط المياه بأنه نسبة المياه المسحوبة إلى المياه المتاحة على أساس سنوي حيث اعتبرت النسبة التي تقل عن 10٪ دليلاً على وجود مشاكل قليلة في إدارة موارد المياه وما بين 10٪– 20٪ تدل على أن المتاح في طريقه ليصبح عاملاً محدداً وأنه يحتاج لاستثمارات هامة في المستقبل وأن السحب الذي يتجاوز 20٪ يدل على أنه من الضرورة إدارة كل من العرض والطلب مع تسوية استعمالات المتاح لتأجيل الاستدامة.

يتسم الوطن العربي بضعف الموارد المائية والتي تنقسم إلى مصادر تقليدية ومصادر غير تقليدية، تتمثل المصادر التقليدية في مياه الأمطار، الأنهار، والمياه الجوفية بينما تتمثل المصادر غير التقليدية في المياه العادمة (الصرف الصحي، الزراعي، والصناعي) المعالجة ومياه البحر المحلاة.

نظراً للتداخل الكبير بين المياه السطحية والجوفية واستكمالا للدورة الهيدرولوجية تتطرق هذه الدراسة لمياه الأمطار والأنهار بشكل عام مع التركيز على المياه الجوفية موضوع الدراسة.

الأوضاع الهيدرولوجية:

- **الأمطار:**

يسود المناخ الجاف والصحراوي في الجزء الأعظم من أراضي الوطن العربي باستثناء بعض القطاعات الساحلية التي تتميز بمناخ البحر الأبيض المتوسط والمناطق الاستوائية.

الموقع الجغرافي والوضع التضاريسي يتحكمان في سيطرة المناخ الصحراوي المتمثل في الحرارة العالية والجفاف، وعدم الانتظام في كميات الأمطار وتعرضه للرياح الصحراوية الحارة والجافة إضافة إلى وجود فصلين رئيسين هما الصيف والشتاء.

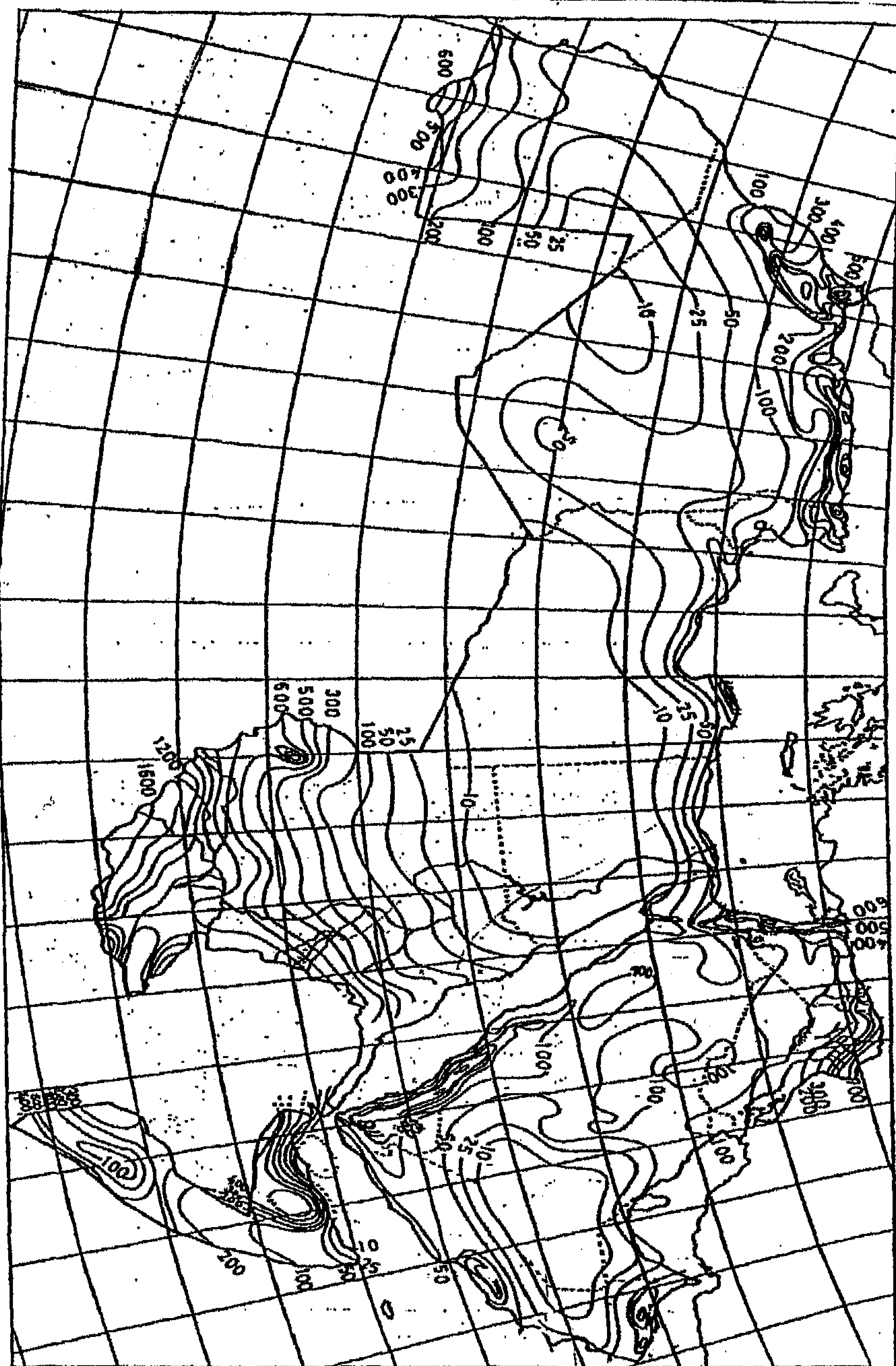
يتسم العالم العربي بوجود الصحاري الكبرى في شمال أفريقيا وشبه الجزيرة العربية والتي تتميز بالمفارقة الكبيرة في درجات الحرارة صيفاً وشتاءاً وليلاً ونهاراً وتسجل أعلى درجات الحرارة بما يزيد عن 45 درجة مئوية بينما تصل درجة الحرارة المطلقة إلى – 19 درجة مئوية.

تتحكم المنخفضات الجوية والجبهات الهوائية في تقلبات الجو العربي وأهمها منخفضات البحر الأبيض المتوسط، والمنخفضات الحرارية الموسمية شمال غرب القارة الهندية، وفي القارة الأفريقية.

تهطل الأمطار الصيفية في جنوب شبه الجزيرة العربية، السودان، الصومال، وموريتانيا ويصل أعلى معدل لها إلى 1000ملم/السنة في جنوب السودان، بينما تتمتع مناطق البحر الأبيض المتوسط بأمطار شتائية تزيد عن 1500ملم/السنة في جبال لبنان وتتضاءل شرقاً لتصل لأقل من 50 ملم/السنة في بادية الشام. في شبه الجزيرة العربية تهطل الأمطار رغم قلتها في فصول الصيف، الشتاء، والربيع ولا يتجاوز معدلها إلى 100ملم/السنة في معظم المناطق عدا المرتفعات الجنوبية حيث

تصل إلى 500 ملم/السنة و1000ملم/السنة في منطقة آب. أما في خليج عمان فيتراوح مابين 120–100ملم/السنة. في المغرب العربي حيث جبال الأطلس تتراوح معدلات الأمطار ما بين 600 و1000 ملم/السنة أما في مصر والجماهيرية الليبية فإن معدل الأمطار يتراوح ما بين 200–100 ملم وتهطل في شريط ساحلي ضيق أما في شمال غرب الجماهيرية والجبل الأخضر يتراوح معدلها السنوي ما بين 600–200 ملم/السنة، شكل رقم (1–1). ويتأثر البخر– نتح بمعدلات الأمطار ودرجات الحرارة وكميات الإشعاع وسرعة الرياح. في ساحل البحر الأبيض المتوسط تتراوح معدلات البخر– نتح ما بين 2.5 ملم/اليوم شتاءاً و11.5 ملم/اليوم صيفاً ويصل معدلها السنوي لحوالي 800 ملم/السنة بينما يتراوح معدلها السنوي في شبه الجزيرة العربية والصحراء الكبرى ما بين 2000–3000 ملم/السنة. باستعراض الموازنة المائية (الفرق بين الهطول المطري والبخر– نتح) نجد أن الموازنة المائية في غالبية الدول العربية سالبة مما يوضح أن المنطقة العربية تعاني عجزاً في الميزان المائي السنوي.

تعتبر مياه الأمطار المصدر الرئيسي للزراعات المطرية والجريان السطحي وتغذية الخزانات الجوفية، ومن السمات الأخرى الهامة للهاطل المطري في المنطقة العربية هو ظاهرة التذبذب والتغيرات الكبيرة في معدلات الهطول من سنة لأخرى وما يصاحب ذلك من فترات الجفاف ومشاكل زراعية ورعوية كما أن التذبذب قد يعني حدوث موجات من الفيضانات المدمرة ذات الآثار البيئية والاجتماعية غير المواتية.



شكل رقم (1 -1)

متوسط الهطول المطري في الوطن العربي بالملم

ينقسم الوطن العربي وفق التوزيع الهيدروغرافي إلى أربعة أقاليم هي شبه الجزيرة العربية والمشرق العربي والمغرب العربي والإقليم الأوسط. تشير الدراسات إلى أن متوسط كمية هطول الأمطار في الوطن العربي يقدر بنحو 2,282 مليار م^3/السنة، جدول رقم (1 –1) ورغم هذا فإن العالم العربي يتسم بندرة موارده المائية إذ أن 67٪ من إجمالي المساحة تتلقى هطولاً مطرياً لا يتعدى 100ملم/السنة وهي غير كافية لإنتاج محاصيل بعلية أو مراعي غنية في حين تتلقى 18٪ فقط من جملة المساحة هطولاً مطرياً يتعدى الـ 300 ملم/السنة وهي أقاليم المشرق العربي والمغرب العربي والإقليم والأوسط، وهي تعتبر أكثرا لمناطق استقرارا زراعياً ومصدراً رئيسياً للمحاصيل الغذائية والإستراتيجية كما أن تقنية حصاد المياه تساهم في الري التكميلي وتوفر مياه الشرب للإنسان والحيوان.

بالرغم من أن مساحة العالم العربي تشكل 10٪ من إجمالي مساحة اليابسة إلا أنها تتلقى هطولاً مطرياً لا يتعدى الـ 2٪ من إجمالي أمطار اليابسة.

جدول رقم (1– 1): نصيب أقاليم الوطن العربي من الأمطار السنوية

الإقليم	كمية الأمطار مليار م^3/السنة	النسبة المئوية
شبه الجزيرة العربية	212	9,2
المشرق العربي	178	7,8
المغرب العربي	588	25,7
الإقليم الأوسط	1,304	57,3
الإجمالي	2,282	100

- **المياه السطحية:**

هياكل التصريف الطبيعي تعكس حالة الظروف البيئية القاحلة السائدة في الوطن العربي، حيث تفتقر معظم أقطار الوطن العربي إلى شبكات هيدروغرافية كبيرة ومستديمة الجريان عدا خارج حدوده، هذا بالإضافة لعدد كبير من الأنهار الصغيرة مثل أنهار الأردن، لبنان، وتشمل الأنهار المشتركة نهر النيل ونهري دجلة والفرات ونهري شبيلي وجوبا بالإضافة لنهر السنغال، وتقدر نسبة المياه العربية الدولية المشتركة بحوالي 54٪ من نهر النيل، 39.8٪ من نهري دجلة والفرات، 6.5٪ من نهري شبيلي وجوبا، و0.7٪ من نهر السنغال.

في مقابل العدد المحدود من الأنهار دائمة الجريان تنتشر في أنحاء الوطن العربي شبكات من الأودية الموسمية متباينة في كثافتها وتصريفها تبعاً لطبوغرافية المنطقة ونوع التربة والبيئة وكمية الهطول السنوي، تنتشر هذه الأودية في مناطق جبال لبنان وجبال الأطلس وشبه الجزيرة العربية وفي حزام السافنا. بالرغم من مواردها المائية المحدودة إلا أن للوديان أهمية هيدرولوجية واقتصادية بالغة خاصة في الأقاليم الجافة حيث تشكل الوديان شريان الحياة الريفية حيث التجمعات السكانية، الثروة الحيوانية، والزراعات التقليدية كما تساهم في تغذية المياه الجوفية جدول رقم (1 –2).

جدول رقم (1 –2): نسبة المياه السطحية الدولية في الأقطار العربية

الإقليم	تصريف داخلي مليار م^3	تصريف خارج الحدود مليار م^3	المجموع مليار م^3
الإقليم الأوسط (مصر– السودان– الصومال– جيبوتي)	86	75	161
المشرق العربي(سوريا– العراق– الأردن– لبنان– فلسطين)	45	81(*)	126
المغرب العربي(الجزائر– تونس– المغرب– ليبيا– موريتانيا)	51	5	56
شبه الجزيرة العربية(السعودية– الكويت– الإمارات– قطر– البحرين– اليمن– عمان)	9(**)	–	9
الإجمالي	**191**	**161**	**352**

المصدر: المنظمة العربية للتنمية الزراعية 1997.

(*) يعتمد الوارد على تقسيم إيراد نهري دجلة والفرات بتوقيع اتفاقية بين تركيا، سوريا، العراق.

(**) معظم تصريف شبه الجزيرة العربية من الأودية الموسمية.

تمثل الينابيع والأفلاج مصادر مياه سطحية تقليدية مهمة ورخيصة وتنتشر في المشرق العربي وشبه الجزيرة العربية وتستغل بصورة أساسية لأغراض الري.

إن جملة المياه السطحية العربية المتاحة تقدر بحوالي 205 مليار م^3 سنوياً وفي المتوسط العام تأتي 70٪ من خارج الدول العربية حيث يشوب وضعها الكثير من المحاذير أهمها عدم التوصل إلى اتفاقيات مع دول المنبع لتحديد التوزيع المنصف والمعقول لهذه الموارد وفق اللوائح والقوانين الدولية. هذا ويعتبر مقترح الأمم المتحدة لقانون اتفاقية استخدام المجاري المائية الدولية للإغراض غير الملاحية (21/مايو/1997) منصفاً، ومن مميزاته وجوب تبادل المعلومات والبيانات المائية المتشاطئة وضرورة الإخطار المسبق من دول المنبع عن عزمها لتنفيذ منشآت مائية تسبب أضرارا لدول أخرى متشاطئة، وأهمها أن لكل الدول المتشاطئة حقوق أصيلة في هذه المياه الدولية المشتركة. من السمات الرئيسية للمياه العربية السطحية أنها موزعة وبنسبة 37٪ في إقليم المشرق العربي، 4.8٪ في شبه الجزيرة العربية، 38.5٪ في الإقليم الأوسط، وحوالي 19.7٪ في المغرب العربي.

تستغل المياه السطحية أساساً لأغراض الري ويحظى قطاع الزراعة بحوالي 88٪ من جملة الاستثمارات المائية، حيث بلغت جملة المياه السطحية المستثمرة لأغراض الري عام 1985 حوالي 139.8مليار م^3/السنة بنسبة استرداد قدرها 68٪ من المياه السطحية المتاحة (205 مليار م^3/السنة) بينما بلغ حجم الطلب للأغراض الزراعية لنفس السنة حوالي 296.6 مليار م^3/السنة ويعجز يقدر بحوالي 53٪ (أكساد 1990) حيث يغطي جزء يسير من هذا العجز بمصادر مياه جوفية ومياه صرف معالجة.

المصادر والمراجع

المراجع العربية:

1. القرآن الكريم.
2. التلوث البيئى والهندسة الوراثية (د. على محمد على عبد الله).
3. الصحة والبيئة (د. محمد كمال عبد العزيز).
4. نظرة جديدة فى البحار والمحيطات (د. ديفيد لامبرت).
5. عبد العزيز طريح – المقدمات في الجغرافيا الطبيعية – الإسكندرية.
6. أبو العز، محمد صفي الدين (2001) قشرة الأرض– القاهرة، مصر: دار غريب للطباعة والنشر والتوزيع .
7. أبو سمور والخطيب "جغرافية الموارد المائية"، دار الصفاء للنشر والتوزيع.
8. دراسات فى الأقيانوغرافية (د. يوسف عبد المجيد فايد).
9. كتاب جغرافيا البحار والمحيطات للدكتور / طلعت احمد محمد عبده والدكتورة / حورية محمد حسين جاد الله.
10. فايد، يوسف ،"جغرافية البحار والمحيطات"، دار الثقافة والنشر، القاهرة 1993.
11. الزوكه، محمد،"جغرافية المياه"، دار المعرفة الجغرافية، الاسكندرية 1995.
12. كمدنه، حيدر عبد الرزاق،"المياه الجوفية وأهمية حمايتها من التلوث"، افاق جامعية، العدد 29، 1981.
13. الصحاف ، مهدي محمد علي واخرين، "علم الهيدرولوجي"، المكتبة الوطنية بغداد، 1983.
14. ولسون، ي، م. ترجمة نزار علي السبتي ولبيب خليل اسماعيل "الهيدرولوجية الهندسية"، جامعة البصرة ، 1982.

المراجع الأجنبية:

1. Elementray Hydrology,Prentice Hall, Englewood,.1992. Vijay P.Singh,.
2. John C. Manning, Applide Principles Of Hydrology,Merrill Publishing Company,1987.
3. John C. Rodda,.Facets of Hydrology,John Wiley & Sons,1985.
4. S. Lawrence Ding man, Physical Hydrology, Second Edition,1994.
5. Burgss R Meteorology for seamen 2 nd ed 1952
6. Horrocks, N.K., "Physial geography and climatogly". 1953.
7. Wiesner, C.J., "Hydrometeorology" 1970 Barnes & Noble U.S.A
8. Penman. H.I. "Natural Evaporation Form Open Water, bare soil and grass" Proceedings of the Royal Society, Series a, vol. 193. 1948
9. SHANTZ, H. L.& PLEMEISEL L. N. "THE WATER REQUIREMENTS OF PLANT AT AKON COLORADO" JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCHES, VOL. 34. 1927. NO. 12
10. SHANTZ, H. L.& PLEMEISEL L. N. "THE WATER REQUIREMENTS OF PLANT AT AKON COLORADO" JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCHES, VOL. 34. 1927. NO. 12.
11. Emmanuel U. Nzewi, Water Resources, McGraw- Hill Professional, 2001.
12. Felix Franks, Water, Royal Society of Chemistry, 2000.
13. Chris Middleton, The Origin of Water, FineWaters Media, LLC, 2005.
14. Gleick, P. H., Water resources. In Encyclopedia of Climate and Weather, Oxford University Press, New York, vol. 2, pp.817- 823, 1996.

جغرافية الموارد المائية

جغرافية

المواردالمائية

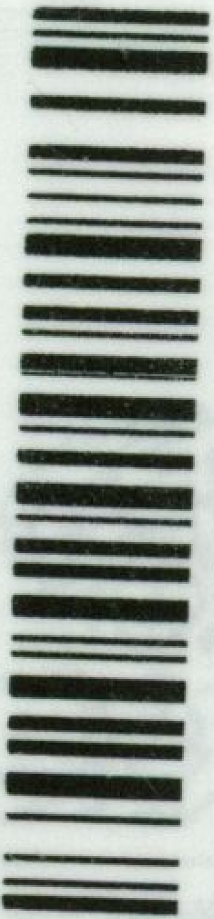
الدكتور

هاشم محمد صالح









مكتبة المجتمع العربي للنشر والتوزيع

الأردن-عمان-وسط البلد-ش. السلط ... +962 6 463 2...

خلوي: +962 79 5651920 ص.ب ... الحسين الشرقي

الأردن - عمان - الجامعة الأردنية - ش. الملكة رانيا العبدالله - مقابل كلية الزراعة - مجمع زهدي حصوة التجاري

www.muj-arabi-pub.com

E-mail:Moj_ pub@hotmail.com



9789957831677

الوكيل المعتمد في ليبيا



نشر - طباعة - توزيع

ليبيا - طرابلس - مجمع ذات العماد - برج 4 - الطابق الأرضي

هاتف: 33/218213350332+ فاكس: 218213350016+

ص. ب: 91969

البريد الإلكتروني: alrowadbooks@yahoo.com

الموقع: www.arrowad.ly